

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalında
Songül SARIALIOĞLU Tarafından Hazırlanan**

**GEMİ MAKİNE DAİRESİ YANGINLARININ İNSAN FAKTÖRÜ ANALİZ
SINIFLANDIRMA SİSTEMİ VE BULANIK HATA AĞACI YÖNTEMLERİ İLE ANALİZİ**

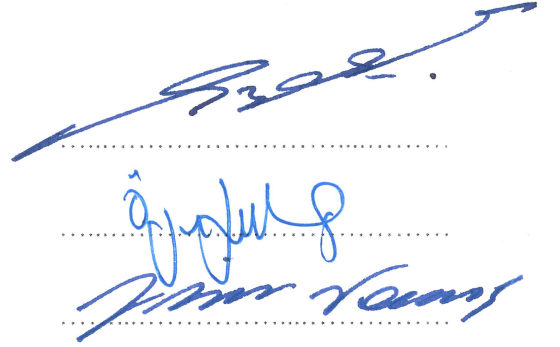
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 / 11 / 2019 gün ve 1827 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Ersan BAŞAR

Üye : Doç.Dr. Özkan UĞURLU

Üye : Doç.Dr. İlhan YANDI



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Deniz taşımacılığı, küresel taşımacılığa olan katkısı bakımından diğer ulaştırma sistemleri arasında ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Öte yandan, deniz kazalarının mürettebata, yolculara, kargoya, gemiye ve deniz ortamına büyük zararlar verme potansiyeli oldukça yüksektir. Özellikle yangın/patlama kazaları en çok karşılaşılan deniz kazalarından biridir. Bu çalışmada, gemi makine dairesinde meydana gelen yangın/patlama kazalarının oluşumunu etkileyen faktörlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu Faktörler İnsan Faktörü Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) yapısına göre sınıflandırılmıştır. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analiz (FFTA) metodu ile HFACS emniyetsiz eylemler seviyesi sonucu ortaya çıkan ve gemi makine dairesi yangınlarına sebep olan nedenlerin nice ve nitel analizi yapılmıştır. Kaza oluşum kombinasyonları incelenmiş ve bu mantıksal ilişkinin sayısal analizi yapılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her türlü desteği sağlayan, tez çalışmamın her aşamasında bilgi birikimini, deneyimini ve yardımlarını esirgemeyerek yetiştirmeme ve gelişmeme katkıda bulunan tez danışmanım, ağabeyim ve denizci meslektaşım sayın Doç. Dr. Özkan UĞURLU 'ya ve kıymetli ailesine, jüriliğimi kabul eden sayın Prof. Dr. Ersan BAŞAR 'a ve Doç. Dr. İlhan YANDI 'ya, kıymetli dostum Zeynep TÜRKER 'e, çalışmamın daha iyi hale gelmesinde bana yardımcı olan bölüm hocalarıma, meslektaşlarıma, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışmasını, her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, Annem Havva SARIALIOĞLU 'na ve Babam Merhum Yılmaz SARIALIOĞLU 'na ithaf ediyorum.

Songül SARIALIOĞLU
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Gemi Makine Dairesi Yangınlarının İnsan Faktörü Analiz Sınıflandırma Sistemi ve Bulanık Hata Ağacı Yöntemleri ile Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Özkan UĞURLU ’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri kendim yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

02/12/2019

Songül SARIALIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
YÜKSEK LİSANS TEZİ	VII
ÖZET	VII
MASTER THESIS	VIII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Deniz Kazaları.....	2
1.2.1 Deniz Kazalarının Deniz Taşımacılığına Etkisi	5
1.2.2 Yangın/Patlama Kazalarına.....	9
1.3. Deniz Kaza Araştırmaları.....	12
1.3.1. Deniz Kaza Araştırmaları ve Tarihçesi	12
1.3.2. Kaza Araştırması Yapan Kuruluşlar.....	14
1.3.3. Kaza Araştırma Modelleri	19
1.3.3.1. Ardışık (Sıralı) Metotlar	20
1.3.3.2. Epidemiyolojik Metotlar	21
1.3.3.3. Sistemik Teknikler	21
1.3.4. İnsan Hatası Faktörü ve Yangın/Patlama Kazalarına Etkisi	22
1.4. İnsan Faktörü Analiz ve Sınıflandırma Sistemi	24
1.4.1. İsviçre Peyniri Modeli	25
1.4.2. HFACS Yapısının İçeriği	26
1.5. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi (FFTA)	30
1.5.1. Bulanık Mantık Yaklaşımı Metodu.....	30
1.5.2. Hata Ağacı Analizi Metodu (FTA)	33

1.5.3.	Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi Uygulamaları.....	38
1.5.3.1.	Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analiz Metodunun Gelişimi.....	38
1.5.3.2.	Tehlikelerin Ayrılması Aşaması.....	39
1.5.3.3.	Bilinmeyen Başarısızlık Oranının Olalılığını Belirlemek	40
1.5.3.4.	Değerlendirme Aşaması	40
1.5.3.5.	Bulanıklaştırma Aşaması.....	41
1.5.3.6.	Birleştirme Aşaması	42
1.5.3.7.	Durulaştırma Aşaması	43
1.5.3.8.	Hata Olasılığı Üretimi	44
1.5.3.9.	Tepe Olayın Başarısızlık Olasılığı	45
1.5.3.10.	Önem Sıralaması	45
1.6.	Benzer Çalışmalar	46
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	53
2.1.	Çalışmanın Kapsamı.....	53
2.2.	Test Kazası İncelemesi.....	58
2.3.	HFACS Çatısına Bağlı Hata Ağacı ve Kök Olayların Belirlenmesi.....	60
2.4.	Bulanık Hata Ağacı Nicel ve Nitel Analizleri.....	65
3.	BULGULAR	71
3.1.	Yangın/ Patlama Kazalarının Genel Bulguları.....	71
3.2.	HFACS Modeliyle Elde Edilen Kaza Faktörlerinin İncelenmesi	72
3.3.	FFTA Metodunun Nicel ve Nitel Hesaplamaları ile İlgili Bulgular	81
3.3.1.	Uzman Değerlendirmesi Sonucu Elde Edilen Bulgular	81
3.3.2.	Bulanıklaştırma Aşaması İnceleme Bulguları.....	82
3.3.3.	Toplama Aşaması Hesaplama Sonucu Elde Edilen Bulgular	83
3.3.4.	Durulaştırma Aşaması Hesaplamaları ile İlgili Bulgular	85
3.3.5.	Başarısızlık Olasılığı Üretimi Sonucu Elde Edilen Bulgular	86
3.3.6.	Tepe Olayın Başarısızlığı Olasılığının İnceleme Bulguları	87
3.3.7.	Hata Ağacının Önem Derecesi Ölçüsü Hesaplaması ile İlgili Bulgular	87
4.	İRDELEME VE DEĞERLENDİRMELER.....	90
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	97
6.	KAYNAKLAR.....	101
7.	EKLER	118
	ÖZGEÇMİŞ	122

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GEMİ MAKİNE DAİRESİ YANGINLARININ İNSAN FAKTÖRÜ ANALİZ
SINIFLANDIRMA SİSTEMİ VE BULANIK HATA AĞACI YÖNTEMLERİ İLE
ANALİZİ

Songül SARIALIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Özkan UĞURLU
2019, 117 Sayfa, 4 Ek Sayfalar

Deniz kazalarının incelenmesinin ana nedeni, olaya neden olan kök sebeplerin anlaşılması ve risk azaltıcı stratejilerin tespit edilerek gerekli düzenlemelerin yapılmasıdır. Bu çalışmada insan hatasının gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın/patlama kazaları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 2000-2017 yılları arasında gerçekleşmiş yangın/patlama kazalarına ait 49 adet soruşturma raporu incelenmiştir. Kaza raporlarından elde edilen uygunsuzluklar insan faktörleri analiz ve sınıflandırma sistemi (HFACS) metodu ile nitel olarak sınıflandırılmıştır. Bulanık yaklaşımlı hata ağacı analiz yöntemi (FFTA) ile emniyetsiz eylemler sonucunda ortaya çıkan ve kazaya sebebiyet veren faktörler ve operasyonel koşullar arasındaki ilişki nitel ve nicel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda makine dairesindeki yangın/patlama kazalarının oluşumundaki en önemli uygunsuzlukların yağ/yakıt sızıntısı ve yetersiz izolasyon olduğu tespit edilmiştir. Bakım-tutum işlemlerinin zamanında ve etkili yapılmamasının yağ/yakıt sızıntısına neden olduğu ortaya çıkarılmıştır. Çalışma makine dairelerinde meydana gelen insan hatası kaynaklı kazaların önlenmesi için rehber niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler : Yangın/patlama kazaları, Deniz kazası, İnsan Faktörü, HFACS
Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi, FFTA

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF VESSEL'S ENGINE ROOM FIRES WITH HUMAN FACTOR
ANALYSIS AND CLASIFICATION SYSTEM AND FUZZY FAULT TREE METHODS

Songül SARIALIOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Maritime Transportation and Management Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özkan UĞURLU
2019, 117 Pages, 4 Pages Appendix

The main reason for investigating marine accidents is to understand the root causes of the incident and to identify risk mitigation strategies and make the necessary arrangements. In this study, the effect of human error in fire / explosion accidents in ship engine rooms was investigated. Within the scope of this study, 49 investigation reports of fire / explosion accidents that occurred between 2000-2017 were examined. The items obtained from accident reports were classified qualitatively by human factor analysis and classification system (HFACS) method. With the fuzzy approach fault tree analysis method (FFTA), the relationship between incidents and operational conditions resulting from unsafe actions was evaluated qualitatively and quantitatively. As a result, it was found that the the most important impact on the occurrence of fire/explosion accidents in the engine room was the lack of lack of insulation and oil/fuel leakage. It has been found that failure to perform maintenance and repair operations in a timely and effective manner causes oil / fuel leakage. The study is a recommendation for the prevention of accidents caused by human error in ship engine room.

Key Words : Fire/explosion accidents, Marine accident, Human factor, HFACS,
Fuzzy Approach Fault Tree Analysis, FFTA

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 2011-2017 yılları arasında EMSA'ya raporlanan kazaların, gemi tipine göre dağılımı	6
Şekil 2. Gemilerde gerçekleşen yangın ve patlama kazalarının alanları	10
Şekil 3. Yangın/patlama kazalarına neden olan faktörler	11
Şekil 4. 1990-2015 yılları arasında gerçekleşmiş yangın/patlama kazaları yüzdeleri	11
Şekil 5. 1990-2015 yılları arasında ölümlle sonuçlanan yangın/patlama kazaları	12
Şekil 6. Reason'un İsviçre Peyniri modeli	26
Şekil 7. Bulanık mantık işlem sürecinin elemanları	31
Şekil 8. Hata Ağacı analizinin uygulama şeması	36
Şekil 9. Örnek hata ağacı oluşumu	37
Şekil 10. Üçgensel üyelik fonksiyonu	41
Şekil 11. Çalışma aşamalarının sistematik şeması	57
Şekil 12. Test kazası HFACS yapısı oluşumu	59
Şekil 13. Yangın/patlama kazalarının Hata Ağacı Analizi yapısı	68
Şekil 14. Yanıcı sıcak yüzeylerin Hata Ağacı Analizi yapısı	69
Şekil 15. Kıvılcım ve ateş kaynağı Hata Ağacı Analizi yapısı	70
Şekil 16. Kazaların IMO'nun kaza boyutu tanımlarına göre dağılımı	72
Şekil 17. Yangın/patlama kaza faktörlerinin HFACS ana seviyelerde görülme yüzdeleri	73
Şekil 18. Yangın/patlama kazalarında HFACS alt kategorilerinin görülme yüzdeleri	73

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. 2008-2019 yılları arasında JTSTB' ye raporlanan kazaların türlerine göre dağılımı	7
Tablo 2. Kazalar ve sonraki yıllarda çıkan yasal düzenlemelere örnekler	8
Tablo 3. Deniz kaza araştırması yapan kuruluşlar	15
Tablo 4. Boolean matematiğinin temel kuralları	34
Tablo 5. Hata ağacı analizinde kullanılan semboller	35
Tablo 6. Yangın/patlama kazalarında HFACS faktörlerin frekansları ve dağılımları .	60
Tablo 7. Makine dairesi yangınında etken olan kök sebepler	61
Tablo 8. Uzman ağırlıklandırma değerlerinin belirlenmesi	65
Tablo 9. Bulanık sayı kümelerinin ölçeklendirilmesinin hesaplanması	66
Tablo 10. Çalışmanın veri tabanındaki kazaların genel bulguları	71
Tablo 11. Kurumsal etkiler seviyesinde kaza faktörleri ve görülme frekansları	74
Tablo 12. Emniyetsiz denetim seviyesinde kaza faktörleri ve görülme frekansları	77
Tablo 13. Emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar seviyesinde kaza faktörleri ve frekansları	78
Tablo 14. Emniyetsiz eylemler seviyesinde kaza faktörleri ve görülme frekansları	80
Tablo 15. Yangın/Patlama kazalarını değerlendiren uzmanların ağırlıklandırma hesapları	82
Tablo 16. Temel Olayların Uzman değerlendirme Skalası	83
Tablo 17. Temel olay BE14 uzman görüşü toplama aşaması hesap değerleri	84
Tablo 18. Temel olay BE14 benzerlik fonksiyonları değerleri hesaplamaları	84
Tablo 19. Uzmanların ortalama ve göreceli anlaşma değerlerinin bulguları	85
Tablo 20. Konsensüs katsayısı (CC) bulguları	85
Tablo 21. Temel olaylara ait bulanık olasılık değerleri hesapları	86
Tablo 22. Temel olayların bulanık başarısızlık olasılığı değerleri hesapları.....	87
Tablo 23. BE için FV-I ve bulanık başarısızlık olasılığı hesaplamaları	88
Tablo 24. Minimum kesme setleri CS-I değerleri	89
Ek Tablo 1.Çalışma kapsamında incelenen gemi makine dairesi yangın/patlama kazalarına ait veriler	124

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Toplantı, Oturum (Assembly)
AA	: Ortalama Anlaşma (Average Agreement)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Amerikan Denizcilik Bürosu (American Bureau of Shipping)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process)
AGCS	: Allianz Global Kurumsal ve Uzmanlık (Allianz Global Corporate and Speciality)
ATSB	: Avustralya Taşıma Güvenliği Bürosu (Australian Transport Safety Bureau)
BE	: Temel Olay (Basic Event)
BMA	: Bahamalar Denizcilik Kurumu (Bahamas Maritime Authority)
BSU	: Deniz Kazası Soruşturma Federal Bürosu (Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation)
CC	: Konsensüs Katsayısı (Consensus Coefficient)
Circ.	: Genelge (Circular)
CLC	: Petrol Kirliliğinden Doğan Zararın Hukuki Sorumluluğu ile İlgili Uluslararası Sözleşme (International Convention on Civil Liability Oil Pollution Damage)
COLREG	: Denizde Çatışmaları Önleme Uluslararası Kuralları (International Regulations for Preventing Collisions at Sea)
CS	: Kesme Setleri (Cut Sets)
DG	: Diesel Jeneratör (Diesel Generator)
DIAM	: Deniz Kazası Araştırma Departmanı (Marine Accident Investigation Department)
DMAIB	: Danimarka Denizcilik Kaza Soruşturma Kurulu (Danish Maritime Accident Investigation Board)
DTSB	: Hollanda Ulaştırma Emniyeti Kurulu (Dutch Transport Safety Board)
EMSA	: Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (European Maritime Safety Agency)
EMCIP	: Avrupa Deniz Zayırlığı Bilgi Platformu (European Marine Casualty Information Platform)
FFP	: Bulanık hata olasılığı (Fuzzy failure probability)
FPS	: Bulanık olasılık skoru (Fuzzy possibility score)
FRAM	: İşlevsel Rezonans Analizi Yöntemi (Functional Resonance Analysis Method)

FTA	: Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
FFTA	: Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi (Fuzzy Fault Tree Analysis)
FUND	: Petrol Kirliliği Zararının Tazmini için Uluslararası Fonun Kurulması ile İlgili Uluslararası Sözleşme (International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage)
GISIS	: Küresel Bütünleşik Denizcilik Bilgi Sistemi (Global Integrated Shipping Information System)
HFACS	: İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (Human Factors Analysis and Classification System)
HFACS-Coll	: Çatışma Kazalarında İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (Human Factors Analysis and Classification System for Collision Accidents)
HFACS-FCM	: İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi-Bulanık Bilişsel Eşleme (Human Factors Analysis and Classification System-Fuzzy Cognitive Mapping)
HFACS-MSS	: Gemi Makine Mahali için İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (Human Factors Analysis and Classification System for Shipboard Machinery Space)
HFACS-PV	: Yolcu Gemisi Kazalarında İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (Human Factors Analysis and Classification System for Passenger Vessel Accidents)
HFACS-OGI	: Petrol ve gaz endüstrisi için İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistem (Human Factors Analysis and Classification System for The Oil and Gas Industry)
IIWG	: Uluslararası Endüstri Çalışma Grubu (International Industry Working Group)
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization)
ISM	: Uluslararası Emniyetli Yönetim (International Safety Management)
ITSA	: Uluslararası Taşımacılık Emniyeti Birliği (International Transportation Safety Association)
JTSB	: Japonya Taşıma Güvenliği Kurulu (Japan Transport Safety Board)
LSDO	: Düşük Kükürtlü Dizel Yakıtı (Low Sulphur Diesel Oil)
MAIB	: Deniz Kaza İnceleme Birimi (Marine Accident Investigation Branch)
MAIIF	: Deniz Kaza Müfettişleri Uluslararası Forumu (Marine Accident Investigators' International Forum)
MARDEP	: Hong Kong Deniz Departmanı (Marine Department-Hong Kong)
MARPOL	: Denizlerin Gemilerden Kirlenmesinin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)

MCIB	: Deniz Kaza Soruşturma Kurulu (Marine Casualty Investigation Board)
MCS	: Minium kesim setleri (Minium cut sets)
MEPC	: Deniz Çevresi Koruma Komitesi (Marine Environment Protection Committee)
MSC	: Deniz Emniyeti Komitesi (Maritime Safety Committee)
MV	: Motorlu Gemi (Motor Vessel)
MTBE	: Metil Tert Butil Eter
NTSB	: Birleşik Devletler Ulusal Taşıma Güvenliği Kurulu (United States National Transportation Safety Board)
NTSC	: Ulusal Taşıma Güvenliği Kurulu (National Transportation Safety Committee)
OPRC	: Petrol Kirliliğine Karşı Hazırlıklı Olma, Müdahale ve İşbirliğine Dair Uluslar arası Sözleşmesi (International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation)
RA	: Değişken Anlaşma (Relative agreement)
Res.	: Önerge, Karar (Resolution)
RoRo	: Ro-Ro Gemisi (roll-on roll-off)
PAL	: Yolcuların Ve Bagajlarının Deniz Yoluyla Taşınması Hakkında Atina Sözleşmesi (Athens Convention Relating to the Carriage of Passengers and Their Luggage by Sea)
P&I	: Koruma ve tazminat sigortası (Protection and indemnity insurance)
PMS	: Planlı Bakım Sistemi (Planned Maintenance System)
SOLAS	: Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi (International Convention for Safety of Life at Sea)
STAMP	: Sistem Teorik Analiz Modeli ve Süreç modeli (System Theoretical Analysis and Process Model)
TE	: Tepe Olay (Top Event)
TSB	: Kanada Ulaşım Güvenliği Kurulu (Transportation Safety Board of Canada)
V-FIM	: Vesely Fussel Önlem Ölçüsü (Vesely Fussel Importance Measure)
UK	: Birleşik Krallık (United Kingdom)
UKAAIB	: İngiltere Havacılık Kazaları Araştırma Birimi (United Kingdom Aviation Accident Investigation Branch)
UNCTAD	: Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı'nın (United Nations Conference on Trade and Development)
USCG	: Birleşik Devletler Sahil Güvenliği (United States Coast Guard (Homeport))

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Deniz yolu taşımacılığı özellikle uzun mesafe taşımacılığı açısından en uygun maliyetli yöntemlerden biridir (Hu ve Zhu, 2009). Genel anlamda firmalar, şirketler ve kuruluşlar ihtiyaç duydukları taşımacılık işlemlerini gerçekleştirirken, daha uygun maliyetlere sahip olması nedeniyle deniz yolu taşımacılığını tercih etmektedir. Dünya taşımacılığının yaklaşık %85'i, petrol ve petrol türevlerinin ise yaklaşık %97'si deniz yolu taşımacılığıyla yapılmaktadır (Kurumahmut ve Yayıcı, 2011). Uluslararası deniz ticareti, 2017 yılında %4,0 artış göstermiştir. Bu, son beş yıldaki en hızlı büyüme değeri olmuştur. Denizcilik uluslararası ticaretin büyük çoğunluğunu, ticaretin yüzde 80 ila 90'ı arasında değişen payı ile sürdürmektedir (UNCTAD, 2018). Deniz taşımacılığı diğer birçok endüstri ile uluslararası ilişkilere sahip, küresel bir endüstridir (Guerrero ve Rodriguez, 2014). Dünya deniz taşımacılığı filosundaki gemi artışı yoğun deniz trafiğine sebep olmuş ve bu yoğunlaşma deniz kazalarında da artışı meydana getirmiştir. Meydana gelen deniz kazalarındaki artış deniz ticaretini de olumsuz etkilemektedir. Nakliye faaliyetlerinin artışından dolayı, gemi kazaları, zayıflar, ekonomik kayıplar, çeşitli çevre kirliliği ve bunlara bağlı yıkıcı sonuçlar doğurduğu için artan bir endişe haline gelmiştir (Uğurlu vd., 2015a; Zhang ve Ming Li, 2017).

Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA)'nın 2011-2017 yılları arasındaki istatistiklerine göre 20.616 (karaya oturma, çatma/çatışma, yangın vb.) deniz kazası gerçekleşmiş ve bu kazalara toplam 23.364 gemi karışmıştır. Bu gemilerin 9.930 (%42,5) tanesi yük gemisi, 5.280 (%22,6) tanesi ise yolcu gemisidir. 2011-2017 yılları arasında meydana gelen deniz kazalarında toplam 203 gemi tamamen zayi olmuştur. Aynı araştırmanın sonucu olarak, deniz kazalarında 2011-2017 yılları arasında 6.812 kişi yaralanmış, 683 kişi de hayatını kaybetmiştir (EMSA, 2018).

İncelenen bu veriler deniz kazalarının yıkıcı sonuçlarını açıkça göstermektedir. Öte yandan, deniz kazaları mürettebat, kargo, yolcu, gemi ve deniz ortamı üzerinde büyük hasarlara neden olabilir (Skjong ve Soares, 2008). Bu sonuçlarla karşılaşılması veya doğurduğu kötü sonuçların en aza indirilmesi ve gerekli önleyici faaliyetlerde bulunulması için oluşan tehlikeli olayların incelenmesi büyük önem taşır. Deniz kazalarının

önlenmesinde bütün Dünya'nın menfaati bulunmaktadır (Demir, 2016). Kazalar ve doğurduğu sonuçlar, başta Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) olmak üzere birçok denizcilik kuruluşunu kazaları önlemeye yönelik çalışmalar yapmaya yöneltmiştir. IMO, deniz taşımacılığının tüm teknik, operasyonel, yönetsel yönlerini emniyet ve güvenlik oluşumları açısından düzenlemektedir. IMO, ticari gemilerin çalıştırılma prensiplerini kapsayan yüzlerce kod ve rehber geliştirmiş ve uygulamaya koymuştur. Ancak artan yasal düzenlemelere ve teknolojik gelişmelere rağmen, deniz kazalarının meydana gelmesi engellenememiştir (Çelik vd., 2010). Bu nedenle, deniz kazalarını inceleyen, deniz kazalarının önlenmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda kazalara sebep olan faktörler ve bu faktörleri önlemeye yönelik eylemler üzerine yoğunlaşmıştır (Wang vd., 2010; Chauvin vd., 2013; Chen vd., 2013; Batalden ve Sydnese, 2014; Uğurlu vd., 2015b; Zhang ve Ming Li, 2017). Bu çalışmalar oluşan deniz kazalarında insan hatasının önemini ve rolünü ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, yukarıda açıklanan bütün durumlarda; deniz taşımacılığını güvenli, emniyetli ve sürdürülebilir kılmak için bilimsel yöntemlerden yararlanılmalıdır. Özellikle, yangın/patlama kazaların deniz emniyetini tehlikeye sokma potansiyeline oldukça yüksektir. İnsan hatası ise bu deniz kazalarına neden olan en önemli faktörlerden biridir.

Bu çalışmada, farklı kaza soruşturma kuruluşları tarafından yayınlanan kaza araştırma raporları incelenmiştir. İnsan faktörleri analiz ve sınıflandırma sistemi (HFACS) metodu etkili bir şekilde kullanılarak ticari gemilerin makine dairesinde gerçekleşen yangın/patlama kazalarının meydana geliş nedenlerinin tespit edilmesi, Bulanık yaklaşımlı hata ağacı analiz (FFTA) yöntemiyle nedenler arasındaki mantıksal ilişkinin kurulması ve kaza oluşum olasılığının hesaplanması amaçlanmıştır. Sonuç olarak kazaların oluşumunda rol oynayan faktörler ve önem dereceleri ortaya konmuş, daha etkili yangın önlemleri alınmasını sağlamak ve kaza oluşumunu önlemeye yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur.

1.2. Deniz Kazaları

Kaza; bireylerin kontrolünde olmayan ya da beklenmeyen bir durumun meydana gelmesiyle can veya mal kaybına, zararına neden olan planlanmamış olaylardır (Zegear, 1991; Harrald vd., 1998; Hollnagel vd., 2006; Kristiansen, 2013). Kaza olaylarını tanımlamak için farklı terimler, yaklaşımlar, teknikler, metodolojiler, yöntemler ve

modeller gibi analiz araçları kullanılır. Kaza modeli terimi literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (Grabowski vd., 2000; Leveson, 2004; Ventikos vd., 2004; Laracy, 2006).

“Deniz kazası ve olayı” veya “deniz zayıtı” terimleri, gemi operasyonlarıyla ilgili istenmeyen olayları ifade eder (IMO, 1996). Denizcilik endüstrisi oldukça iyi bir emniyet anlayışına sahiptir fakat deniz kazaları da felaketler için yüksek potansiyel oluşturmaktadır (Hetherington vd., 2006). Deniz kazası, gemide olan bir eylemin bir hareketin sonucunda gerçekleşen veya bir gemi ile ilgili olarak; cankaybı veya cankaybı tehlikesi bulunan, uzuv kaybı ile sonuçlanan yaralanmalar; geminin batması veya terk edilmesi; gemide maddi hasar gerçekleşmesi, geminin çatışması, karaya oturması; gemiden kaynaklanan çevresel zararların meydana gelmesi gibi sonuçların bir veya daha fazlasının oluşmasına neden olan olaylardır (Grabowski vd., 2010; Kızırtapan, 2010; Mullai ve Paulsson 2011).

Deniz kazaları birçok farklı şekilde meydana gelmektedir. Ancak yaygın örnekler; çatma/çatışma, batma, karaya oturma ve yangın/patlama kazalarıdır (Akten, 2006; Abbassi vd., 2017). Deniz kazalarının sınıflandırılmasında belirli bir standardın sağlanması için deniz kazaları kazanın meydana gelmesinde rol oynayan esas etkene göre; çatma/çatışma, karaya oturma, yangın/patlama, batma/su alma, iş kazası ve diğer kazalar olarak sınıflandırılmıştır. Denizcilik kazalarının sınıflandırılması ile ilgili tanımlar aşağıda açıklanmıştır (IMO, 2008a; Şahin vd., 2015; Primorac ve Parunov 2016).

Çatışma, iki veya daha fazla geminin çarpışması olarak ifade edilebilir. Bir kazanın çatışma kazası olarak değerlendirilebilmesi için en az iki adet gemi çarpışmalı ve gemiler hareket halinde olmalıdır. Bir geminin duran bir cisme çarpması çatışma kazası olarak sınıflandırılmaz. Çatma ise; hareket halindeki bir geminin mendireğe, rıhtıma veya bağlı olan tekneye temas etmesi durumudur.

Karaya oturma; geminin omurga altında kalan az derinlikteki sığ suda deniz tabanına temas etmesi veya saplanıp kalması olayıdır. Geminin sürüklenip sahile oturması, deniz tabanındaki herhangi bir batığa veya topuğa oturması bu sınıfa dahildir.

Batma/su alma; gemi teknesinin, kısmen veya tamamen su geçirmez özelliğini kaybederek su alması olarak ifade edilir. Bu durumun sonucunda geminin batması ya da teknenin bir veya daha fazla bölümüne su alması ve teknenin yüzmeye kabiliyetini kaybetmesi meydana gelebilir.

Yangın; yanıcı madde ve yakıcı madde kaynağının oksijen ile birleşmesi sonucu ortaya çıkan olaydır. Isı, duman veya alevle kendisini belli eden yanma olayının kontrol

dışında gelişmesi, büyümesi durumunu ifade eder. Gemi bünyesinde gerçekleşen patlama kazaları da bu sınıfta yer almaktadır.

Gemi ekipman hasarı; ana makine, yardımcı makineler, dümen, baş iter gibi gemiyi manevradan ya da hareket etmekten alıkoyabilecek teçhizatın veya diğer gemi donanımlarının, hasara uğraması ya da arızalanması olarak tanımlanır. Ağır hava koşullarından dolayı güverte donanımlarının hasara ya da kayba uğraması bu kaza kategorisinde yer alır.

İş kazası; personel gemide çalışırken meydana gelen ve personelin bedenen zarara uğramasına neden olan kaza sınıfıdır. İş kazaları beklenmedik ani gerçekleşen durumlardır, iş gücü kaybı ya da ölüm gibi ağır sonuçlar meydana gelebilir. Diğer kaza türlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmayan kazalardır.

Diğer: Yukarıdaki belirtilen durumlar dışında kalan kazalardır. Denize adam düşmesi, zehirlenme, adam yaralama bu kaza sınıfı için verilebilecek örneklerdir.

IMO tarafından kazalar meydana getirdiği sonuçlara göre de sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre kazalar; çok ciddi kazalar, ciddi kazalar, az ciddi kazalar ve deniz olayı olmak üzere 4'e kategoriye ayrılmaktadır (IMO, 2000; Demir, 2016).

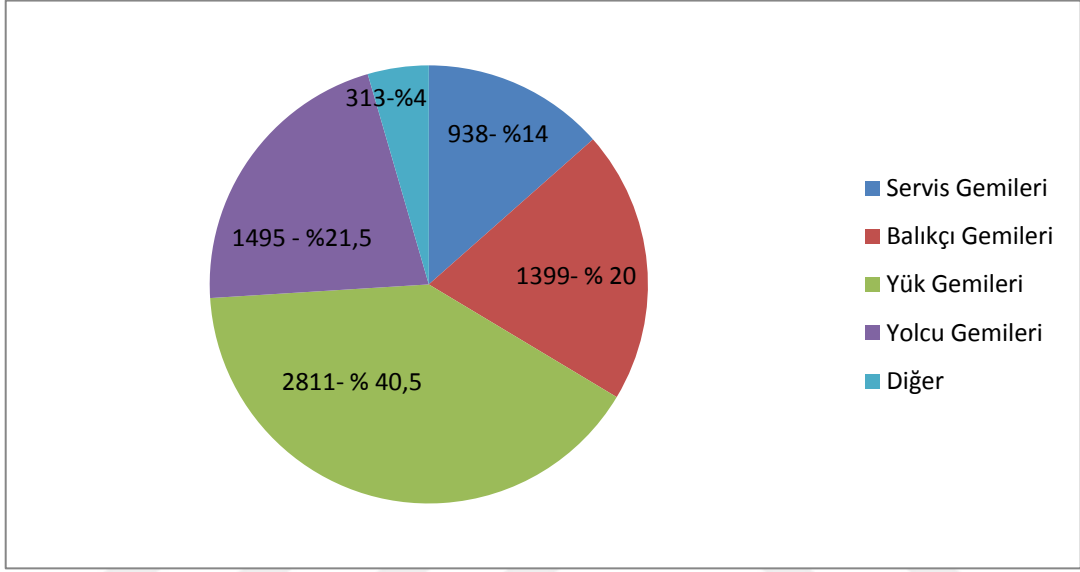
- Çok ciddi kazalar: Geminin tamamen kaybı, can kaybı veya büyük kirlilik içeren deniz kazaları olarak ifade edilir. Ağır çevre kirliliği; IMO'nun Deniz Çevresi Koruma Komitesi (Marine Environmental Protection Committee-MEPC) 37/22, paragraf 5,8'de tanımlanmış; çevrede önemli ölçüde kirliliğe neden olan ve ciddi tedbirler almayı zorunlu kılan kirlilikleri ifade etmektedir.
- Ciddi kazalar: Çok ciddi deniz kazası dışında kalan ve ciddi yaralanma veya gemiyi denize elverişsiz hâle getirecek derecede büyük maddi hasarla sonuçlanan deniz kazalarını kapsamaktadır. Ana makinenin kullanım dışı kalması, yaşam mahallinin ve gemi teknesinin hasarlanması ya da kara destekli yardım gerektiren hasarlar bu gruba girmektedir.
- Az ciddi kazalar: Çok ciddi ve ciddi kazalar tarafından kapsanmayan kaza sınıflandırmasıdır.
- Deniz olayı: Kazaya yakın olan ve tehlikeli durumları belirtmektedir. Deniz kazasının ön şartını oluşturmaktadır. Bir geminin operasyonlarıyla bağlantılı olarak gerçekleşen ve geminin, gemi üzerindeki insanların emniyetini veya çevreyi tehlike altına sokan veya düzeltilmemesi hâlinde tehlikeye sokabilecek olan ve deniz kazası dışında kalan durumlar olarak ifade edilmiştir.

1.2.1. Deniz Kazalarının Deniz Taşımacılığına Etkisi

Denizcilik endüstrisi küresel olarak genişlemektedir ve dünya çapında deniz trafiğinde önemli bir artışa yol açmaktadır (Hetherington vd., 2006; Tournadre, 2014). Artan emniyet standartlarına ve gelişmiş teknolojiye rağmen, deniz taşımacılığının riskleri varlığını sürdürmektedir (Akten, 2006; Çelik vd., 2010). Bu nedenle, uluslararası denizcilik otoriteleri, denizcilik endüstrisi emniyetini artırmak için önemli çabalar sarf etmiştir (O'Neil, 2003; Hetherington vd., 2006). Buna rağmen, yakın zamanda yayınlanan raporlarda çok sayıda ciddi deniz kazasının gerçekleştiği görülmektedir. Bu nedenle son yıllarda deniz kaza araştırmalarına olan eğilim hızla artmaktadır. Deniz kazalarını önlemek için alınan tüm önlemlere ve teknolojik gelişimlere rağmen deniz kazalarının meydana gelmesi istenilen değerlerde küçültülememiştir (Hetherington vd., 2006; Schröder-Hinrichs vd., 2012; Chauvin vd., 2013). Ölümler ve yaralanmalar, mülke ve çevreye verilen zarar, sigorta da dahil olmak üzere kazaların maliyeti, nakliye maliyetlerinde önemli bir paya sahiptir. Denizcilik endüstrisi, meydana gelen kazalar sonucunda önemli derecede çevre kirliliğiyle karşı karşıya kalmıştır. Gerçekleşen bu tür olaylardan sonra yetkili makamlar aynı kazalarının tekrar meydana gelmesini önlemek için yeni yasal çerçeveler geliştirdiler (Stoop, 2003). Allianz Global Kurumsal ve Uzmanlık (AGCS), tarafından yapılan araştırmalara göre son on yılda (2009-2018) meydana gelen kazaların çoğunluğunu yangın/patlama, çatışma/çatma, makine hasarı, karaya oturma oluşturmaktadır (AGCS, 2019).

Avrupa'nın güvenilir kaza araştırma kurumu EMSA tarafından 2018 yılında yayınlanan deniz kaza ve olay raporlarına göre 2011-2017 yılları arasında iş kazalarını da içermek üzere toplam 20.616 kaza ve kazaya yakın olay gerçekleşmiştir. 2017 yılında bildirilen 3.301 olayla birlikte, Avrupa Deniz Kazası Bilgi Platformu (EMCIP)'nda kaydedilen toplam olay sayısı 20.000'in üzerine çıkmıştır. Bu, son dört yılda ortalama 3,315 kaza anlamına gelmektedir. EMSA'nın yayınladığı bu raporda; 2011-2017 döneminde meydana gelen 405 kazada 683 kişi hayatını kaybetmiş ve bu değer 2015 yılından bu zamana kadar önemli bir düşüş olduğunu göstermektedir. 2017 yılında bildirilen rapora göre meydana gelen kazalar sonucunda 1.018 kişi yaralanmıştır. Bu sayı 2014 yılından 2017 yılına kadar nispeten sabit kalmıştır ve yılda ortalama 1000 civarındadır. Bu kazaların 6.614 tanesi iş kazası dışındaki diğer kaza türlerinde (çatma/çatışma, karaya oturma, yangın vb.) gerçekleşmiştir. Gerçekleşen bu kazaların

%55,3'ü az ciddi kaza, %21'i ciddi kaza, %3,8'i çok ciddi kaza, geri kalan %19,9'u ise kazaya yakın deniz olaylarını kapsamaktadır. Kargo gemileri ve hizmet gemileri içeren oluşumların sayısı sabitleşmiş, yolcu gemileri ve “diğer gemiler” sayısı 2017 yılında hafifçe düşerken, 2014 yılından bu yana balıkçı gemileriyle ilgili olarak sürekli bir artış kaydedilmiştir (EMSA, 2018) (Şekil 1).



Şekil 1. 2011-2017 Yılları arasında EMSA'ya raporlanan kazaların, gemi tipine göre dağılımı (EMSA, 2018).

Japonya Taşıma Güvenliği Kurulu (JTSTB) verilerine göre 2019 yılı nisan ayı sonuna kadar raporlanan yük gemilerinin karışmış oldukları deniz kazalarının 2008-2019 yılları arasında meydana gelen 9.990 kazanın yıllara ve türlerine göre dağılımları tablo 1'de görüldüğü gibidir. Yüzdeleri en fazla olan kaza türü %42,5 değerle çatışma/çatma kazasıdır. Bununla beraber incelenen kaza raporları can kaybı ve yaralanmanın dikkate değer nitelikte olduğunu göstermektedir. Yangın/patlama kazaları oranının %3,8 gibi bir değere karşılık gelmesine rağmen bu kazaların sonucunda meydana gelen hasarın, can kaybı ve yaralanma oranının önemli bir değere sahip olduğu ifade edilebilir. Yıllara göre meydana gelen deniz kazaları analizlerine bakıldığında verilerin sabit ve dengeli olmamasına rağmen gerçekleşen kaza sayısında azalma olduğu görülmektedir (JTSTB, 2019).

Tablo 1. 2008-2019 yılları arasında JTSTB' ye raporlanan kazaların türlerine göre dağılımı (JTSTB, 2019).

Yıl	Çatışma /Çatma	Karaya Oturma	Batma	Su alma/ Alabora	Yangın/ Patlama	Can Kaybı/ Yaralanma	Diğer	Genel Toplam
2019	56	55	3	20	8	46	0	188
2018	328	169	21	77	26	179	0	800
2017	296	181	13	77	30	143	0	740
2016	311	163	5	65	29	144	0	717
2015	346	202	5	68	41	122	1	785
2014	381	213	7	72	36	150	3	862
2013	409	210	10	74	35	163	2	903
2012	378	264	5	76	46	155	0	924
2011	427	264	12	74	33	142	1	953
2010	536	369	15	68	37	146	0	1171
2009	499	431	16	77	45	217	2	1287
2008	282	255	12	32	18	61	0	660
Toplam	4249	2776	124	780	384	1668	9	9990
Frekans (%)	42,5	28,0	1,2	7,8	3,8	16,6	0,1	100

Kanada Taşıma Güvenliği Kurulu (TSB) verilerine göre 2018 yılına ait 282 adet deniz kazası rapor edilmiştir. 2017 yılında ise rapor edilen deniz kazası sayısı 279 adet olarak kayıtlara geçmiş ve 2008-2017 yılları arasında deniz kazalarında %9'luk azalma olduğu görülmüştür. Rapora göre deniz kazalarının dağılımı, balıkçı gemileri %28 ve genel yük gemileri şeklindedir. Kanada Taşıma Güvenliği Kurulu'nun istatistiklerine göre 2018 yılında en sık görülen deniz kaza türleri ve oranları; çatışma %49, karaya oturma %16, yangın /patlama %14 ve diğerleri %21'dir (TSB, 2018).

Deniz taşımacılığının tarihi, insan yaşamını, toplumu ve deniz çevresini kısmen felaket sonuçları olan gemi kazaları ile işaretlenmiştir. Deniz kazası sonucunda meydana gelen zaiyat gemi türlerine göre farklı düzeyde olabilmektedir (Soares ve Teixeira 2001). Barış zamanında en büyük deniz felaketi Aralık 1987 yılında Filipin bayrağına sahip Doa Paz feribotunun küçük bir kıyı petrol tankeri olan Vector ile çatışmasıyla meydana gelmiştir. Doa Paz gemisinin taşıdığı 4.317 yolcudan sadece 24'ü hayatta kalmıştır. 1912 yılında Titanik gemisinin batması sonucunda ise 1.500 kişi hayatını kaybetmiştir. 2012 yılında, 4.200 yolcu taşıyan Costa Concordia yolcu gemisinin İtalya kıyılarında karaya oturması 515 milyon dolarlık sigorta zararına ve 32 kişinin hayatını kaybetmesine neden olmuştur. 2014 yılının ortalarında, deniz kazalarının neden olduğu sigorta edilmiş kayıp değerinin yaklaşık 2 milyar dolar olduğu ifade edilmiştir. 2017 yılında ise gerçekleşen deniz kazaları sonucunda 1.163 kişi hayatını kaybetmiş ve 197 milyon dolarlık sigorta edilmiş zarar meydana gelmiştir (IIE, 2018).

Kazalar, deniz taşımacılık sektörünü önemli ölçüde etkilemektedir. Çevre, insan ve gemi bünyesinde gerçekleşen zararların yanı sıra; denizcilik sektöründe birçok kural ve yasal düzenlemeler büyük kazalar ve felaketler sonucunda geliştirilmiştir. 1912 yılında buz dağına çarparak batan Titanic gemisi dünyanın dikkatini denizde seyir emniyetine çevirmesini ve emniyetli taşımacılığın en belirleyici unsurlarından biri olan SOLAS sözleşmesinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunun yanı sıra, acil durumlarda yapılacak arama ve kurtarma faaliyetlerinin standartlaştırılması ile ilgili önemli gelişmeler meydana gelmesini sağlamıştır. Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından emniyetli deniz taşımacılığı için yeni şartlar geliştirilmiş ve mevcut düzenlemeler değiştirilmiştir. Bu açıdan dikkate değer bir örnek, 1989 yılında Alaska'daki Exxon Valdez tankeri kazasının sebep olduğu feci deniz kirliliğidir. Bu kaza sonrasında tanker operasyonlarının emniyetini arttırmak ve gelecekte oluşacak benzer kazaların önlenmesi için personel eğitimi ile ilgili yeni düzenlemeler yapılmıştır (Eliopoulou ve Papanikolaou, 2007). Denizcilik sektöründe kural ve yasal düzenlemelerin kazaların sonucu olarak, ortaya çıktığını gösteren birçok örnek olay bulunmaktadır (Charlebois, 2012; Butt vd., 2013) (Tablo 2).

Tablo 2. Kazalar ve sonraki yıllarda çıkan yasal düzenleme örnekleri

Yıl	Kaza	Yapılan düzenleme
1912	Titanik	SOLAS,1914
		CLC,1969
		MARPOL,1973
		STCW, 1978
1989	Exxon Valdez – Petrol sızıntısı	OPRC, 1990
		MARPOL Ek 1(Çift Cidar Düzenlemesi)
1994	MS Estonia - Can kaybı	STCW 95
		MARPOL Protokolü (1997)
		ISM Kod 1 (1998)
1999	Erika - Petrol sızıntısı	SOLAS Bölüm XII Bulk Code Düzenlemesi
2002	Prestige - Petrol sızıntısı	ISM Kod II
		PAL Protokolü
2003		FUND Protokolü
		EMSA'nın kurulması
		Erika I (EU)

1.2.2. Yangın/Patlama Kazaları

Yangın olayı çoğu zaman küçük ayrıntıların yanlış gitmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Yangın/patlama kazaları gemilerin denizde en sık karşılaştıkları tehlikedir ve büyük felakete neden olabilir (Roberts ve Marlow, 2002; Silei, 2010; Vassalos vd., 2010; Azzi vd., 2011). Son yıllarda meydana gelen gemi kazalarında hala can kaybı gerçekleşmekte ve yangın kazaları nedeniyle milyonlarca Euro/dolar değerinde zarar oluşmaktadır. Genellikle denizcilikte yangın/patlama kazalarından kaynaklanan ölümlerin sayısı diğer kaza türlerine göre daha fazladır. Yangın/patlama kazaları çoğunlukla beklenmedik bir şekilde gerçekleşir ve bu yolcular veya mürettebatın gemiyi terki için yeterli süreye sahip olmasını engeller (National Research Council, 1991). Bu ve benzer nedenlerle birçok kaza araştırma uzmanı yangın kazalarını önlemek ve meydana gelecek zararları azaltmak amacıyla bu alanda çalışma yapmaktadır.

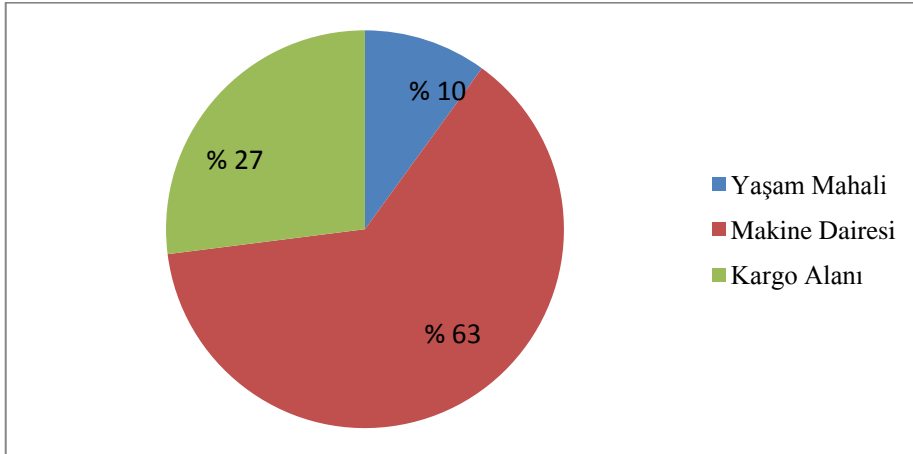
AGCS, tarafından yayınlanan Emniyet ve Denizcilik İncelemesi ön izleme raporunda en yaygın gemi hacmi toplam zararı nedenlerinden birinin %10'luk oranla yangın/patlama kazaları olduğu ifade edilmiştir. Yayınlanan bu raporda, 2018 yılı içerisinde raporlanan ve büyük hasarla sonuçlanan 174 adet yangın/patlama kazasının meydana geldiği belirtilmiştir. 2009-2018 yılları arasında gerçekleşen yangın/patlama kazaları, 103 adet geminin tamamen kaybıyla sonuçlanmıştır (AGCS, 2019). Yangın/patlama kazalarına dikkat çeken bir diğer önemli istatistik rapor ise, JTSB, tarafından yayınlanmış kaza analiz raporudur. 2018 yılına ait güncel raporun içerdiği 821 kazanın 26 tanesi yangın/patlama olarak bildirilmiştir. Yangın/patlama kazaların yıkıcı sonuçları göz önüne alındığında bu rakamın azımsanamayacak bir değerde olduğu ifade edilebilir (JTSB, 2019).

Araştırmacılar tarafından incelenen 15 yıllık denizcilik kaza raporları, 1997-2011 yılları arasında meydana gelen yangın ve patlamaya bağlı kazaların; gemi kaybı, ekipman kaybı gibi zararlara en fazla neden olan kaza türlerinden biri olduğunu ortaya koymuştur (Butt vd.; 2013). Limanlarda gerçekleşen gemi kazalarıyla ilgili yapılan araştırmalar sonucunda sırasıyla %29 ve %17'lik oranla kazaların yangın ve patlamalardan kaynaklandığı tespit edilmiştir (Darbra ve Casal, 2004). Dünya genelindeki dökme yük gemilerinde meydana gelen kazalar, 1980-2010 yılları arasında Lloyd'un kayıtlarından faydalanarak incelenmiş, yangın/patlama kaynaklı kaza oranının %19 olduğu görülmüştür (Roberts vd., 2013). Yangın/patlama nedeniyle gerçekleşen kazaların; can kaybına katkıda bulunan faktörlerinin diğer kaza türlerinden ortalama olarak %132 daha fazla olduğu ifade

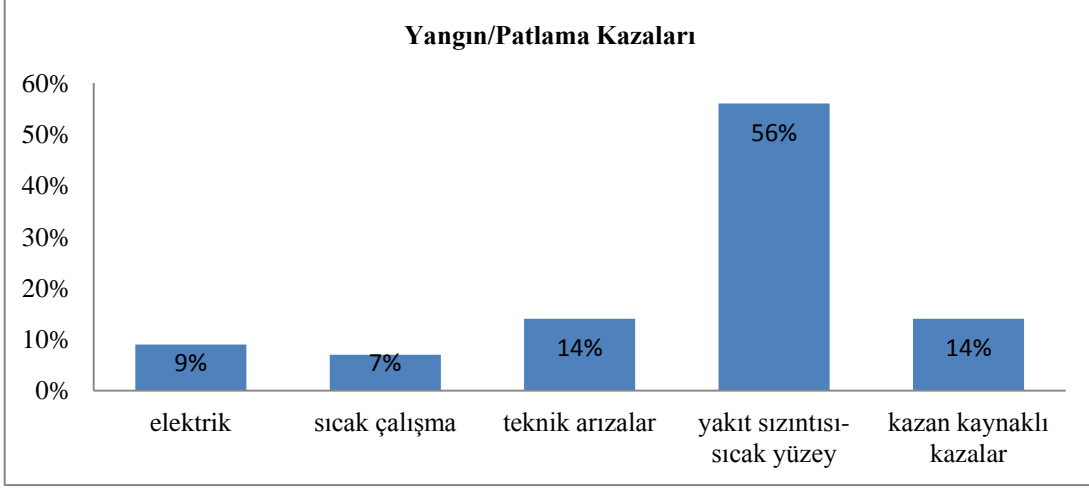
edilmiştir (Weng ve Yang, 2015). Uygun koruma ve müdahalenin bulunmaması durumunda, yangın/patlama olayına yol açan küçük bir hata gemi yangınlarının anında doğası nedeniyle büyüyerek gemi kaybına, çevre kirliliğine, yaralanmalara ve ölümlere neden olmasını sağlar (Shichuan vd., 2012).

Yapılan tüm bu çalışmalar ve yayınlanan raporlar, yangın kazalarının neden olduğu zararı önlemek veya azaltmak için bu kazaların ileri yöntemlerle incelenmesi gerekmektedir. IMO' da ve tüm uluslararası denizcilik topluluğundaki tartışmalarda yangın emniyeti konusu hakim durumdadır. 1 Temmuz 2002'de, Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi'nin (SOLAS) revize edilmiş yeni bir Bölüm II-2'si olarak yangını önleme, yangından korunma ve yangın söndürme hakkında gemilerde kapsamlı ve yeni bir dizi gereksinim yürürlüğe girmiştir (Ventikos, 2013).

Panama deniz kazaları araştırma birimi (MAIB), 2011 yılında Ocean Pacific Star gemisine ait yayınladığı kaza raporunda; yangınların genellikle küçük ayrıntılardan kaynaklandığını ifade etmiştir. İstatistiklere göre, makine dairesinde meydana gelen yangınlar tüm yangınların neredeyse üçte ikisine denk gelmektedir ve bu değer %56'sı, yakıt kaçağının sıcak yüzeylerle temasından kaynaklanmaktadır. Makine dairesi yangınları aynı zamanda o bölgede çalışan mürettebat üyeleri ve yangınla mücadele ekibi için de tehlike oluşturmaktadır (MAIB, 2011). Şekil 2'de gemilerde gerçekleşen yangın ve patlama kazalarının görüldüğü alanların yüzdesi verilmiştir.

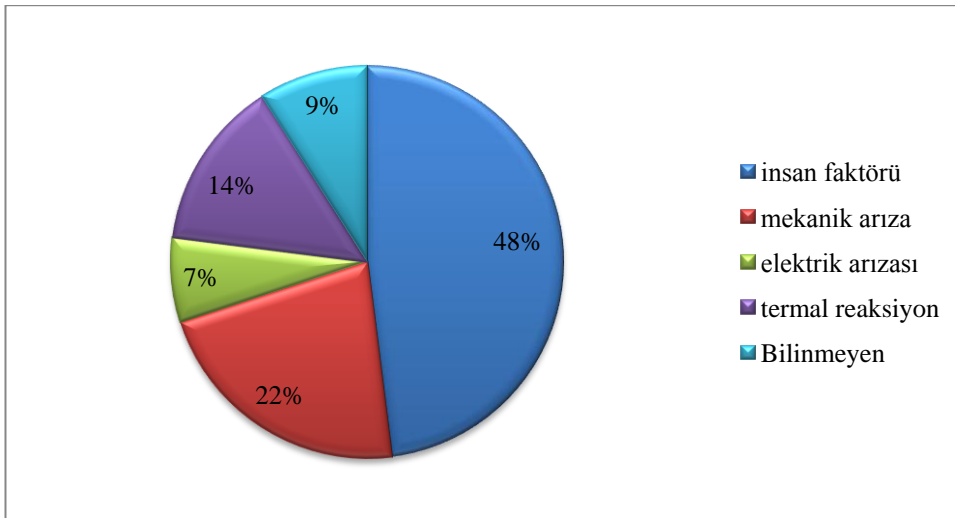


Şekil 2. Gemilerde gerçekleşen yangın ve patlama kazalarının alanları (MAIB, 2011).



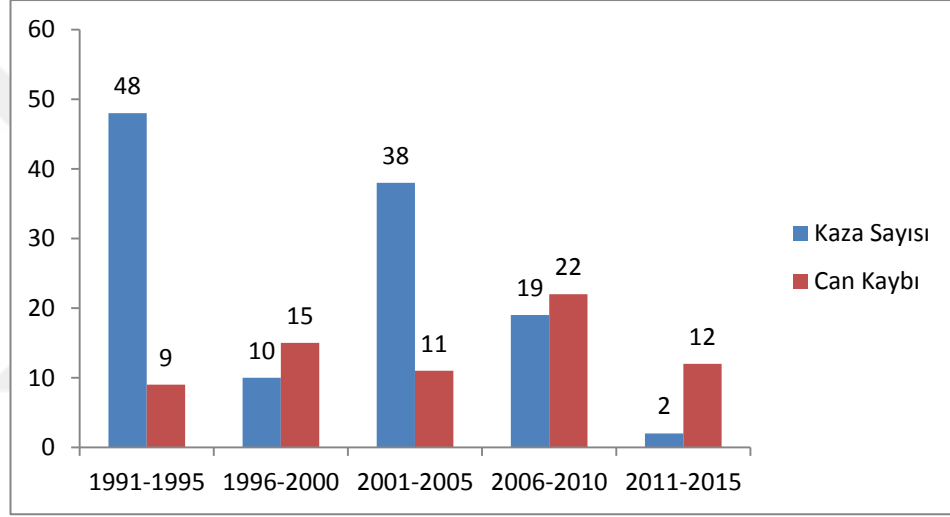
Şekil 3. Yangın/patlama kazalarına neden olan faktörler (MAIB, 2011).

Yangın/patlama kazaların oluşumunda etken olan faktörler görülme sıklıklarına göre gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma yangının kaynağına göre yapılmış ve yüzdeler oran olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3). Deniz kazalarına ilişkin çalışmalar, çoğu durumda yangının makine dairesinde ortaya çıktığını ve sıcak yüzeylerle temas eden yağ veya yakıttan kaynaklandığını göstermiştir. 1990 ve 2015 yılları arasında deniz taşımacılığında yangın ve patlamaya bağlı gerçekleşen deniz kazaları; insan hatası, mekanik arıza, reaksiyon, elektrik arızası ve bilinmeyen ana nedenlerine göre beş kategoride gruplandırılmıştır (Balisampang vd., 2018) (Şekil, 4).



Şekil 4. 1990-2015 yılları arasında gerçekleşmiş yangın/patlama kazaları yüzdeleri (Balisampang vd., 2018).

İncelenen bu kazalarda ölüm ve kaza sayısı karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Yangın/patlama kazalarının, teknolojik ilerlemeye rağmen deniz taşımacılığı için risk oluşturmaktadır. Yangın/patlama kazalarını önlemek için, katkıda bulunan tüm faktörlerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi kaçınılmazdır (Baalisampang vd., 2018). Zamanında yangını tespit etmek, yangın alarmını çalmak ve gerekli tüm yardımı almak, erken karar vermek, yangın alanını izole etmek ve yangın sebebini belirlemek yangınla mücadele sürecini hızlandıracak en önemli eylemlerdir. Yangına karşı savaşmak için 10 dakikalık bir yanıt 200.000 dolara, yirmi dakikalık bir yanıtın ise 2.000.000 dolara mal olabileceği ifade edilmiştir (MAIB, 2011).



Şekil 5. 1990-2015 yılları arasında ölümlle sonuçlanan yangın/patlama kazaları (Baalisampang vd., 2018).

1.3. Deniz Kaza Araştırmaları

1.3.1. Deniz Kaza Araştırmaları ve Tarihçesi

Kaza araştırmaları; kazanın gerçekleşmesine neden olan faktörlerin ve temel sebeplerin belirlenmesi, görülme sıklığının saptanması, kazaların oluşumlarını önleyici ve gerekli tedbirlerin alınması hususunda bir bütün şeklinde yapılan çalışmalardır. Yapılan kaza araştırmaları meydana gelebilecek kazaların etkisinin hafifletilmesini, kazaların

meydana gelme sıklığının azaltılmasını ve böylelikle gerçekleşen maddi ve manevi kayıpların en aza indirgenmesini sağlamaktadır.

Kaza araştırmaları oldukça eski bir tarihe sahiptir. Bununla birlikte resmi kayıtlara geçmiş ilk kaza raporu; 1912 yılında gerçekleşmiş İngiltere, Brooklands'de meydana gelen bir uçak kazası için yayınlanmış kaza raporudur. Kazada 2 kişi (pilot ve bir yolcu) yaşamını yitirmiştir ve yapılan kaza araştırması sonucunda kazaya neden olan temel sebebinin pilot hatası olduğu ortaya çıkmıştır (Fage vd., 1965; Laurie, 2012). 1915 yılında ise Havacılık Kazaları Araştırma Birimi (UKAIB) faaliyete geçmiştir. Bu birimin oluşumuyla havacılık kazalarının sistematik araştırılmasına başlanmıştır.

Titanic gemisin batmasından sonra gemi kazaları araştırması başlamıştır. İlk kaza araştırması Birleşik Devletler Senatosu tarafından yrtlmştir. Senato tarafından oluşturulan komisyon 18 günde kaza araştırmasını tamamlayarak bir kaza analiz raporu sunmuştur (Smith vd., 1912). Diğer bir gemi kazası ise İngiliz Batık Komiserliği (British Wreck Commissioner's) tarafından incelenmiş ve sonrasında ilgili kaza inceleme raporu yayınlanmıştır (Bigam vd., 1912). Günümüzde ise denizcilikle ilgili ülkelerin neredeyse tamamı kaza araştırması yapmaktadır. Birçok lke tarafından ulusal deniz kazası araştırma birimleri yapılandırılmış ve kaza araştırmasının yasal çerçeveler etrafında yapılması sağlanmıştır. 1989 yılında gerçekleşen Herald of Free Enterprise gemi kazasının sonrasında İngiltere'de Deniz Kazaları Araştırma Birimi (MAIB) kurulmuştur (MAIB, 2018). Bu kaza araştırmaları sonucunda; ülkeler, deniz taşımacılığında gerçekleşen kaza sayılarını azaltmak ve önleyebilmek için çok sayıda yasal düzenleme gerçekleştirmiştir. Gerçekleşen deniz kazaları sonucunda, IMO'nun birçok konvansiyonu ve düzenlemesi değişim geçirmiş ve yeni kurallar oluşturulmuştur. Örneğin; Titanic gemi kazasının gerçekleşmesiyle SOLAS sözleşmesi hazırlanmış ve 1914 yılında kabul edilmiştir (IMO, 2018). SOLAS Bölüm I, Kısım C, Kural 21'de SOLAS sözleşmesine taraf olan ülkelerin kendi bayrağını taşıyan gemilerin karıştığı deniz kaza olaylarını incelemesi ve kazalar hakkında IMO'yu bilgilendirmesi gerektiği açıkça ifade edilmiştir. Deniz kazalarının araştırması hususunda IMO uluslararası standardizasyonu sağlamak üzere ilk çalışmasını 1997 yılında gerçekleştirmiş ve Res. A.849(20); Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma Kodu'nu yayınlamıştır (IMO, 1997). Deniz evresi Koruma Komitesi (Marine Environment Protection Committee-MEPC) 44 ve 45. oturumlarında ise kaza raporlamaları ile ilgili olarak MSC 953. Sirküleri ve MEPC 372. Sirküleri yayınlamıştır. Bu sirkülerde kazaların önem derecesi belirlenmiş ve çok ciddi kaza, ciddi kaza, daha az ciddi kaza ve

deniz olayları terimleri tanımlanmıştır. Kazaların raporlanmasında izlenecek yol ve yöntemler, rapor formatı ve raporlama ile ilgili yasal süre gibi bilgiler açıkça ifade edilmiştir (MSC-MEPC, 2008).

IMO'nun deniz kazalarına önem vermesi ve bayrak devletlerini kaza araştırmasından sorumlu tutmasının hemen ardından ülkeler tarafından kaza araştırma birimleri kurulmuştur. Yayınlanan kaza araştırma raporlarının kolay anlaşılabilmesi ve raporların faydalı olabilmesi için raporlarda standardizasyonun sağlanması için IMO'nun Deniz Emniyeti Komitesi tarafından 2008 yılında Res. MSC.255(84) Kaza İnceleme Kodunun kabulü onaylanmıştır. Böylelikle araştırmalar sonucunda elde edilen bilgilerin gelecekte gerçekleşmesi muhtemel olan kazaların önlenmesi için yol gösterici olması hedeflenmiştir. Kaza İnceleme Kodunun yayınlanmasından sonra; farklı ülkeler tarafından yayınlanan kaza raporlarına kolaylıkla ulaşılabilmesi için IMO, Küresel Bütünleşik Denizcilik Bilgi Sistemini (GISIS) faaliyete geçirmiştir. Bu sistem internet üzerinden çalışmaktadır. GISIS'in içerisinde yer alan Deniz Kazaları ve Olayları kategorisi; IMO tarafından kurulmuş olup; büyük ölçüde açık erişimli, uluslararası bir deniz kazası bilgi tabanıdır.

1.3.2. Kaza Araştırması Yapan Kuruluşlar

Günümüzde kaza araştırması uzman ekipler tarafından yapılmaktadır. Birçok ülkede, kaza verileri ulusal yönetmeliklere ve kurulan kodlama sistemlerine uygun olarak raporlanır (Mullai ve Paulsson, 2002; Mullai, 2004). Yaklaşık 30'dan fazla kaza araştırma kurumu araştırmalarını kendi bayrak devleti sularında meydana gelen deniz kazaları üzerinde sürdürmektedir (Tablo 3). Kaza araştırmasının ana odağı; gelecekte meydana gelebilecek kazaların önlenmesidir. Kaza analiz çalışmaları sırasında, kaza oluşumunda etken olan faktörlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için kullanılan veri tabanlarının güvenilirliği büyük öneme sahiptir (Antao ve Soares, 2006; Chauvin vd., 2013). Bu çalışmada incelenen kaza raporları için kullanılan veri tabanları hakkındaki bazı genel bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 3. Deniz kaza araştırması yapan kuruluşlar

Kuruluşun Adı	Kısaltması	Merkez Ülke(ler)
Accident Investigation Board Norway	AIBN	Norveç
American Bureau of Shipping	ABS	ABD
Australian Transport Safety Bureau	ATSB	Avustralya
Bahamas Maritime Authority	BMA	Bahamalar
Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation	BSU	Almanya
Bureau d'enquêtessur les événements de mer	BEAMER	Fransa
Confidential Hazardous Incident Reporting Programme	CHIRP	Birleşik Krallık
Countryman & McDaniel	C& M	ABD
Danish Maritime Accident Investigation Board	DMAIB	Danimarka
Department of Marine Services and Merchant Shipping	ADOMS	Antik ve Barbuda
Dutch Safety Board	DSB	Hollanda
European Maritime Safety Agency	EMSA	Portekiz
Global Integrated Shipping Information System	GISIS	Birleşik Krallık
International Transportation Safety Association	ITSA	ABD, Kanada, İsveç, Hollanda
Isle of Man Ship Registry	IOMSR	Birleşik Krallık
Japan Transport Safety Board	JTSB	Japonya
Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu	KAİK	Türkiye
Marine Accident Investigation Branch	MAIB	Birleşik Krallık
Marine Accident Investigation Committee Cyprus	MAIC	Kıbrıs
Marine Accident Investigators' International Forum	MAIF	Birleşik Krallık
Marine Casualty Investigation Board	MCIB	İrlanda
Marine Department-Hong Kong	MARDEP	Çin
Maritime Safety Administration of People's Republic of China	MSA	Çin
National Transportation Safety Committee	NTSC	Endonezya
Marine Accident Investigation Department	DIAM	Panama
Philippine Coast Guard	PCG	Filipinler
Safety Investigation Authority	SIA	Finlandiya
Swedish Accident Investigation Board	SHK	İsveç
Swedish Transport Agency	STA	İsveç
The Nautical Institute	MARS	Birleşik Krallık
Transport Accident and Incident Investigation Bureau	TAIIB	Letonya
Transport Accident Investigation Commission	TAIC	Yeni Zelanda
Transportation Safety Board of Canada	TSB	Kanada
United States Coast Guard (Homeport)	USCG	ABD
United States National Transportation Safety Board	NTSB	ABD

Avustralya Taşıma Güvenliği Bürosu (ATSB); Avustralya Ulaşım Güvenliği Bürosu, Avustralya'nın ulusal ulaşım güvenliği araştırmacısıdır. ATSB, ulaşım ile ilgili kazaları ve Avustralya'daki olayları araştırmaktan sorumlu federal hükümet organıdır. Hava, deniz

ve demiryolu seyahatlerini kapsar. 1 Temmuz 1999 tarihinde Avustralya’da kurulmuştur. Denizyolu, demiryolu ve havayolu taşımacılığında meydana gelen kazaların incelenmesi ve raporlanması 100 kişilik emniyet araştırmacısından oluşan ekip tarafından yapılmaktadır. Geniş bir veri tabanına sahip olan ATSB tarafından 1954-2019 yılları arasında denizyolu, demiryolu ve havayolu taşımacılığında meydana gelmiş toplam 7.197 kaza incelenmiş ve raporları yayınlanmasını sağlamıştır. İncelenen bu kazalardan 6.674 tanesini havacılık, 336 tanesini deniz kazası ve 187 tanesini ise demiryolu kazaları oluşturmaktadır. Bu değerler 2019 yılı itibariyle devam eden kaza soruşturmalarını kapsamamaktadır. Büro; kaza araştırma raporları dışında yıllık emniyet değerlendirme raporu, istatistiksel veriler ve emniyet bültenleri de yayınlamaktadır. Kaza raporlarına ve diğer emniyet raporlarına kamu tarafından ücretsiz olarak erişmek mümkündür (ATSB, 2019).

Bahamalar Denizcilik Kurumu (BMA); Bahamalar Denizcilik Kurumu, Bahamalar'daki gemileri kaydeden ve Bahama'ya kayıtlı gemilerde emniyet standartlarını uygulayan bir otoritedir. 1995 yılında kurulmuştur. Deniz emniyetini sağlayabilmek için gerçekleşen gemi kazalarının soruşturmasını gerçekleştirerek raporlarının yayınlanmasını sağlamaktadır. Bahamalar Denizcilik Kurumunun kaza veri tabanı 1990-2016 yılları arasında oluşmuş ve kaza inceleme komisyonu tarafından incelenmiş 69 adet deniz kaza raporundan oluşmaktadır. Yayınlanan kaza araştırma raporlarına ücretsiz olarak erişmek mümkündür (BMA, 2019).

Deniz Kazası Soruşturma Federal Bürosu (BSU); Alman bayraklı gemilerde gerçekleşen deniz kazalarının soruşturmasını ve raporlarının yayınlanmasını sağlamaktadır ve 2002 yılında kurulmuştur. BSU'nun kaza araştırmasındaki ana odağı, kazanın gerçekleşmesine neden olan faktörlerin tespit edilmesi ve gelecekteki kazaları önlemek için bu faktörlerin ortadan kaldırılmasını sağlamaktır. Veri tabanında 2003-2019 yılları arasında gerçekleşmiş 199 adet kaza raporu bulunmaktadır. Kazasoruşturmasında, insan hatası faktörü dikkate alınmakta ve rapor hazırlanmaktadır. Yayınlanan raporlar İngilizce ve kamunun ücretsiz erişimine açıktır (BSU, 2019).

Danimarka Denizcilik Kaza Soruşturma Kurulu (DMAIB); Denizcilik ve balıkçılık ile ilgili kazaları araştırmak amacıyla Danimarka İş ve Büyüme Bakanlığı'na bağlı olarak kurulmuştur. Soruşturmanın amacı deniz kazalarını netleştirmek ve denizde emniyet konusunda eğitim sağlamaktır. Kaza araştırma kurulu, Danimarka ve Grönland karasularında ve bu ülkelerin bayrağına sahip deniz araçlarında meydana gelen kazaları

araştırarak, gelecekteki kazaları önleyici tavsiyelerde bulunmayı amaçlamaktadır. Kaza raporları yerel dilde yayınlanır fakat IMO'ya bildirilmesi zorunlu kaza raporlarının İngilizce çevirisi yapılmaktadır. Kaza veri tabanında 1997-2019 yılları arasında gerçekleşmiş kazalara ait 437 kaza raporu bulunmaktadır. (DMAIB, 2019).

Deniz Kazası Araştırma Departmanı (DIAM); 2008 yılında Panama Denizcilik İdaresine bağlı olarak kurulmuştur. Kurum, Panama bayrağına sahip gemilerde ve Panama karasularında gerçekleşen deniz kazalarını araştırmaktadır. Kurumun temel amacı meydana gelen kazaları inceleyerek elde edilen bilgi ve tecrübe ile gelecekte gerçekleşebilecek deniz kazalarının önüne geçmektir. Sistem veri tabanında 49 adet İngilizce düzenlenmiş deniz kaza raporu bulunmaktadır (DIAM, 2019).

Deniz Kaza İnceleme Birimi (MAIB); İngiltere'de meydana gelen Herald of Free Enterprise gemi kazasının ardından Birleşik Krallık Ulaştırma Departmanına bağlı olarak 1989 yılında kurulmuştur. Oldukça geniş bir kaza veri tabanı sahiptir. Yılda 1500-1800 arası deniz olayı bildirim almaktadır (bütün kaza türleri ve kazaya yakın olaylar dâhil) bu nedenle her yıl ortalama 30 ayrı deniz kazasının soruşturmasını gerçekleştirmektedir. Kaza soruşturmaları kendi alanlarında tecrübeli 4 ayrı kaza inceleme takımı tarafından yapılmaktadır. Veri tabanında 1987-2018 yılları arasında gerçekleşmiş 685 deniz kazası raporu bulunmaktadır. Bu raporlar ücretsiz olarak kamu tarafından erişilebilirdir (MAIB, 2019).

Birleşik Devletler Ulusal Taşıma Güvenliği Kurulu (NTSB); 1967 yılında kurulmuş ve bu tarihten itibaren havacılık, karayolu, denizyolu, demiryolu ve boru hattı taşıma türlerinde gerçekleşen kaza soruşturmasını yürütmektedir. Ayrıca; tehlikeli maddelerin taşınması ile ilgili kazaların soruşturulması da bu kurum tarafından yapılmaktadır. Kaza veri tabanında 1965-2018 yılları arasında meydana gelmiş 493 havacılık kazası, 1973-2018 yılları arasında meydana gelmiş 264 deniz kaza raporu yer almaktadır. Kaza soruşturma raporları ve kaza raporlarından faydalanılarak hazırlanan emniyet bültenleri ücretsiz olarak kamu erişimine açıktır (NTSB, 2019).

Kanada Ulaşım Güvenliği Kurulu (TSB); 1990 yılında kurulmuş olup, havacılık denizyolu, demiryolu, karayolu ve boru hattı taşımacılığı dahil olmak üzere taşımacılık sektörlerinde gerçekleşen kazaları incelemektedir. Sistem veri tabanında 1990-2018 yılları arasında gerçekleşmiş 1.049 havacılık kazası, 1990-2018 yılları arasında gerçekleşmiş 476 denizcilik kazası ve 1991-2018 yılları arasında gerçekleşmiş 377 demiryolu kazasına ait kaza soruşturma raporu yayınlanmıştır. Oldukça geniş bir veri tabanına sahiptir. Bunun

yanı sıra kaza soruşturma raporları İngilizce yayınlanmaktadır ve kamu tarafından erişilebilirdir (TSB, 2019).

Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA); Lizbon merkezli deniz emniyet Ajansı, Avrupa Komisyonu ve Üye Devletlere gemi kirliliği ve deniz emniyeti ile ilgili AB mevzuatının geliştirilmesi ve uygulanmasında teknik yardım ve destek sağlamaktadır. Ayrıca, petrol kirliliğine müdahale, gemi izleme ve gemilerin izlenmesi konularında çalışmalar yürütmektedir. 2002 yılında EMSA'nın kurulmasını sağlayan durum, Erika (1999) ve Prestige (2002) gemilerinde meydana gelen kazalar ve bu kazaların sonucunda ortaya çıkan petrol sızıntıları olmuştur. Bu kazalar sonucunda İspanya ve Fransa kıyılarında büyük çevresel ve ekonomik zararlar meydana gelmiştir. Çalışma alanı sadece kaza soruşturmaları değil, tüm deniz emniyeti ile ilgili konuları kapsamaktadır. Tüm Avrupa'yı içerdiği için ülkelerin yerel kaza soruşturma kuruluşlarının veri tabanlarından da veriler elde ederek bu verileri kullanabilmektedir. Kazalar IMO'nun kaza kategorilerine göre ayrılmıştır, kaza raporlarına ücretsiz erişim bulunmaktadır. Kaza Raporları haricinde; kaza verilerini kullanarak yayınladığı emniyet rehberleri, tavsiyeler, teknik raporlar ve istatistik raporları da denizde emniyetin artırılması için hazırlanmış diğer verilerdir (EMSA, 2019).

Küresel Bütünleşik Denizcilik Bilgi Sistemi (GISIS); IMO tarafından Kasım 2009'da oluşturulmuş, internet tabanlı denizcilik veri tabanına sahip sistemdir (IMO, 2010). GISIS'in 20 farklı kategorisi bulunmaktadır. Bunlar; IMO'ya kayıtlı gemilerin bilgilerinin sorgulandığı, deniz kazaları ve olaylarına ilişkin araştırma raporları, deniz kirliliği önleme prosedürleri, korsanlık ve silahlı soygun raporları, deniz trafiğinin kolaylaştırılması hakkında prosedürler vb. kategorileri ifade etmektedir. GISIS sistemi kamu erişimine ücretsiz olarak açıktır. Ancak, üyelik durumuna göre paylaşılan raporların içerik bilgisi değişmektedir. IMO'nun politikası gereği bazı raporlar sadece resmi üyelerin erişimine açıktır. Sistemde tanımlanmış kazaları birçok kategoriye göre sorgulamak ve istenilen kazalar hakkında bilgi edinme imkanı bulunmaktadır. Uluslararası olduğundan en geniş kaza veri tabanıdır. GISIS Sisteminde 1900-2019 yılları arası gerçekleşmiş kazalara ait 10.000 adet kaza bilgisine ulaşılabilir. Sistem veri tabanından kazanın özeti ve gerçekleşmesi, kazaya karışan gemilerin ismi ve bilgilerinin ile bayrak devletlerinin hazırladığı olduğu kaza raporlarına da erişim sağlanabilir (GISIS, 2019).

Amerika Birleşik Devletleri, İsveç, Hollanda ve Kanada'nın kaza soruşturma kuruluşları bir araya gelmesiyle Uluslararası Taşımacılık Güvenliği Birliği (ITSA)

kurulmuştur. 1993 yılında, ITSA kazaların bağımsız olarak uluslararası platformda incelenmenin yararlı olacağı düşüncesiyle oluşturulmuş ve kaza verilerini kamu ile paylaşarak uluslararası taşımacılık emniyeti için yararlı bir kuruluş olmuştur. Günümüzde ITSA, 17 farklı ülkeye ait kaza soruşturma kuruluşlarının üyeliğine sahip, güvenilir bir kaza araştırma kuruluşudur (ITSA, 2019).

1.3.3. Kaza Araştırma Modelleri

Her kaza veya risk çalışmasının asıl amacı, bilinçli ve daha iyi kararlar vermeleri için araştırmacılara geçerli ve güvenilir bilgiler sunmaktır. Ölçülebilecek değerlerin yönetilmesi her zaman mümkün değildir (Kawka ve Kirchsteiger, 1999). Bir kaza modeli anlamına gelen kaza analizi (Hollnagel, 2002), proaktif ve düşük maliyetli düzenlemelerin geliştirilmesine bilgi girişi sağlamak için çok önemli bir süreci oluşturmaktadır (Psarros vd., 2010). Bir kaza modeli, bir kazanın oluşumu ve gelişiminin soyut bir kavramsal temsilidir. Kazanın nasıl ve niçin oluştuğu hakkında görüş ve düşünme şeklini açıklar ve fenomenin öngörülmesini sağlar (Hollnagel, 2002; Huang vd., 2004). Son yıllarda, literatürde bir dizi kaza araştırması yöntemi geliştirilmiş ve tanımlanmıştır (Katsakiori vd., 2009). Denizcilik endüstrisi de dahil olmak üzere demiryolu taşımacılığı, madencilik, havacılık gibi birçok alanda kaza çalışmaları olasılıklı yöntemlere ve özet istatistiklere dayanmaktadır (Grabowski vd., 2000; Van Drop, 2001; Merrick vd., 2003; Leveson, 2004; Vanem ve Skjong, 2006; Konovessis ve Vassalos, 2008; Trucco vd., 2008; Ulusçu vd., 2009).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kaza modelleriyle ilgili sorunları ve yeni modeller geliştirme ve var olanları güncelleme veya iyileştirme ihtiyacının olduğu ortaya çıkmaktadır (Harrald vd., 1998; Hollnagel, 2002; Huang vd., 2004). Bu modeller kaza analizi, tahmin ve önleme için gerekli bir etkidir. Kazaları azaltmanın ve önlemenin yetersizliği ile kaza modellerin eski ve yetersiz olması arasında bir ilişki kurulabilir (Huang vd., 2004). Kaza modellerinin çoğu kazaları belirli bir sırayla meydana gelen olayların sıralı bir zinciri olarak görmektedir (Hollnagel, 2008; Ulusçu vd., 2009; Çelik vd., 2010).

Geleneksel kaza modelleme yaklaşımları, kazaları analiz etmekte yetersiz kalmaktadır. Kaza modelleri, kazaların nedenleri ve etkileri arasındaki ilişkileri gösteren, kaza özelliklerinin belirli kavramlar çerçevesinde oluşturulmasını sağlar (Mullai, 2004; Qureshi, 2007). Kaza analizi yapılırken çeşitli veri setlerinden faydalanılır. En uygun

araştırma yöntemini seçmek için etken koşullar, ortaya konan araştırma sorularının türü, bir araştırmacının gerçek olaylar üzerindeki kontrolünün kapsamı ve tarihsel olayların aksine güncel konuya odaklanma derecesidir (Yin, 1994). Kaza soruşturması yapan kişiler bir analiz aracının seçimini ve kullanımını etkileyebilecek bütçe ve zaman kısıtlamalarına maruz kalabilirler (Underwood ve Waterson, 2013). Çok fazla sayıda analiz aracı (yaklaşık 100'den fazla) bulunmasına rağmen her bir yöntem kaza değerlendirmesi için uygulanabilir olmamaktadır. Bu nedenle, hangi tekniğin benimsenip kullanılacağına karar verirken kullanılabilirliği ve sektörde ne kadar iyi kurulmuş olduğunu gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Araştırmacılar bu değişiklikleri hesaba katmaya çalıştıklarından, ortaya çıkan analiz tekniklerinin geliştirilmesi üç ana sınıf altında gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflar sıralı, epidemiyolojik ve sistemik olarak tanımlanabilir (Hollnagel, 2002; Hollnagel vd., 2006). Bu sınıflandırma, farklı kaza nedensellik varsayımları ile ilgilidir (Hollnagel, 2002; Hollnagel ve Goteman, 2004; Hollnagel vd., 2006). Bu ayırım zorunlu değildir ve farklı kaza özelliklerine dayanan diğer sınıflandırma sistemleri mevcuttur (Katsakiori vd., 2009).

1.3.3.1. Ardışık (Sıralı) Metotlar

Sıralı model sınıfı, ayırık olayların zaman sıralı dizilerinin sonucu olarak kazaları tanımlamayı amaçlamaktadır. İstenmeyen bir olayın, diğer bir deyişle bir temel nedenin, kazaya yol açan bir olaylar dizisini başlattığını ve ardışık olaylar arasındaki sebep-sonuç ilişkisinin doğrusal ve deterministik olduğunu varsayarlar. Kazanın, tanımlanması ve doğru analizinin yapılması durumunda kazanın tekrarlanmasını önleyebilecek kök nedeninin bir sonucu olduğu anlamına gelir. Örnek olarak; Domino modeli (Heinrich, 1931), Hata Ağacı Analizi (Ericson, 1999) ve Five Whys yöntemi (Ohno, 1988) sayılabilir.

Sıralı modeller, fiziksel bileşenlerin yetersizliğinden kaynaklanan kazalar ve nispeten basit sistemler için kullanılabilir (Leveson, 2004). Bu modeller karmaşık olayları ve sistemleri hesaba katmadıkları için doğru bir şekilde modellenemez ve bu nedenle tüm durumlarda ve sistemlerde iyi çalışmazlar (Leveson, 2004; Trucco vd., 2008). Güvenlik önlemleriyle ilgili sorulara yalnızca kısmi cevaplar alınmasını sağlar (Harrald vd., 1998).

1.3.3.2. Epidemiyolojik Metotlar

Epidemiyolojik modeller, kaza oluşumlarını “gizli” ve “aktif” hataların bir kombinasyonu olarak ifade etmektedir (Qureshi, 2007). Gizli koşullar, örneğin yönetim uygulamaları veya örgütsel kültür uzun süre bir sistem içinde uykuda kalabilir (Reason vd., 2006). Bu tür örgütsel faktörler yerel düzeyde, yani bir bireyin performansını (yorgunluk veya aşırı iş yükü) olumsuz etkileyen operasyonel görevlerin yapıldığı koşullar oluşturabilir. Daha sonra meydana gelebilecek hatalar ve ihlaller gibi 'emniyetsiz eylemler' göz önünde bulundurulur. Bu nedenle, gizli başarısızlıkların olumsuz sonuçları ancak, bir sistemin savunmasını ihlal etmek için emniyetsiz eylemlerle, yani aktif arızalarla birleşince ortaya çıkar. En iyi bilinen epidemiyolojik teknik, çeşitli analiz yöntemleri için kavramsal temeli oluşturan İsviçre Peyniri modelidir (Reason, 1990; Reason, 1997). Diğer bir örnek ise İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemidir (Wiegmann ve Shappell, 2001).

Epidemiyolojik teknik sınıfı, örgütsel faktörlerin sıralı araçlarla karşılaştırıldığında kaza nedenselliği üzerindeki etkisini daha iyi göstermektedir. Bireyin bir kazanın gizli koşullarının etkisini incelemesi gerektiği göz önüne alındığında, kazanın daha kapsamlı bir şekilde anlaşılması sağlamaktadır. Bununla birlikte, çoğu, doğrusal bir kaza nedensellik yönünü tanımladıkları için, sıralı modellerin neden sonuç ilkelerine dayanmaktadır (Hollnagel, 2004). 1990'ların sonlarından itibaren bazı araştırmacılar; (Rasmussen, 1997; Leveson, 2001; Svedung ve Rasmussen, 2002), epidemiyolojik tekniklerin artık sosyo-teknik sistem kazalarının gittikçe karmaşıklaşan doğasını hesaba katamayacağını ifade etmişlerdir. Sistem teorisi uygulaması daha sonra bu konuya bir çözüm olarak önerilmiştir.

1.3.3.3. Sistemik Teknikler

Sistem, kazaları bir sebep-sonuç ilişki döngüsü olarak ele almak yerine, bir sistemin kurucu parçaları arasındaki kontrol dışı ilişkilerden kaynaklanan beklenmeyen davranışlar olarak tanımlamaktadır. Başka bir deyişle, kazalar aktif ve gizli kusurların bir kombinasyonu ile ortaya çıkmaz; emniyetsiz koşulları yaratan insan ve teknolojinin sonucu olarak gerçekleşir. Kazaların anlaşılması ve önlenmesi için sistemdeki güvenlik eksikliklerinin tanımlanması ve giderilmesi gereken bütünsel bir yaklaşım gereklidir. Sistem yaklaşımının uygulanmasını sağlayan bir dizi sistemik araç mevcuttur. Örnek olarak; Sistem Teorik Analiz Modeli ve Süreç modeli (STAMP) (Leveson, 2004, Leveson,

2011), İşlevsel Rezonans Analizi Yöntemi (FRAM) (Hollnagel, 2004; Hollnagel, 2012) ve Accimap (Rasmussen, 1997) yöntemleri gösterilebilir.

Bu sistemik teknikler kaza nedenselliğinin daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağlar gibi gözükse de, çeşitli çalışmalar daha fazla kaynak yoğunluğu olduğunu ve uygulamada önemli miktarda teorik bilgi gerektirdiğini göstermektedir (Johansson ve Lindgren, 2008; Ferjencik, 2011). Ayrıca, İsviçre Peynir modelinin en son versiyonu (Reason, 1997), kazaların gerçekleşmesi için aktif hataların her zaman gerekli olmadığını kabul eder. Kings Cross, Piper Alpha kazaları ile Challenger ve Columbia uzay araçlarında gerçekleşen kazalarda olduğu gibi uzun süre devam eden gizli koşullar kazanın meydana gelmesi için gerekli ortamı oluşturmaktadır (Reason vd., 2006). Ayrıca, gizli koşulların yönetim başarısızlıklarından ziyade örgütsel faktörler olarak daha iyi tanımlanabileceğini kabul etmektedir. Dolayısıyla, epidemiyolojik ve sistemik kaza sınıfları arasındaki ayrım, ince bir görünüme sahip gibi görünmektedir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar, sistemik metotları HFACS ve Sistemik Oluşum Analizi Metodolojisi gibi İsviçre Peyniri temelli metotlarla karşılaştırmış ve sistemik tekniklerin daha derin bir anlayış sağladığını yorumlamıştır (Arnold, 2009; Salmon vd., 2012).

1.3.4. İnsan Hatası Faktörü ve Yangın/Patlama Kazalarına Etkisi

Deniz kazalarının gerçekleşmesinde etken olan en önemli faktörlerden birininin %75-85 oranında insan hatası faktörü olduğu birçok araştırmacı kabul edilmektedir (Wagenaar ve Groeneweg 1987; Rasmussen, 1997; Rothblum, 2000; Baker ve McCafferty 2005; Portela, 2005; Antao ve Soares, 2006; Eliopoulou ve Papanikolaou, 2007; Etman ve Halawa, 2007; Uğurlu vd., 2015). İnsanın faktörünün deniz kazalarının oluşumunda ciddi bir etkiye sahip olması IMO ve denizcilik sektöründe faaliyet gösteren birçok ulusal ve uluslararası kuruluşun kazalarda insan faktörü etkenine odaklanmasını sağlamıştır. IMO tarafından 187 adet karaya oturma ve çatışma kazası araştırılmış ve bu kazaların 150 adedinin gerçekleşmesinde %80 oranında insan hatasından meydana geldiği tespit edilmiştir. Sadece birkaç kazanın teknik hatadan dolayı meydana geldiği ifade edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kazalarda etken olan insan hatalarının teknoloji, çevre, organizasyon, çalışma pratiği ve grupla ilgili olduğu ifade edilmiştir (Apostol-Mates ve Barbu 2016). UK P&I kulübüne ait verilere göre, insan hatasından kaynaklı maddi zarar denizcilik endüstrisinde bir yıllık süreçte 541 milyon dolardır. 15 yıllık periyotta 100.000 dolar

üzerindeki 6.091 hak talebinin üyelere maliyeti 2,6 milyar dolardır. Bu değerin %62'sinin insan hatasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Etman ve Halawa, 2007).

Nippon Kaiji Kyokai, insan hatası oluşumu ile ilgili faktörleri geniş bir şekilde insan unsuru, donanım faktörleri, organizasyon ve yönetim faktörlerine olarak kategorilere ayırmıştır (ClassNK, 2010). Baker ve McCafferty (2005), yaptıkları çalışmada insan hatası oluşumlarını durumsal farkındalık grubu, yönetim grubu, risk grubu, ekipman ve donanım bakımlarında insan hatası ve insan dışı hata grubu olmak üzere beş gruba ayırmıştır. Yapılan bir başka çalışmada ise insan hatası, iç kaynaklı nedenler ve iç kaynaklı hataya neden olan dış nedenler olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır (Whittingham, 2004). Literatürdeki diğer bir çalışmada sistem yaklaşımı, işyerindeki mevcut hatalara ve örgütsel süreçlere odaklanmaktadır. Bu oluşuma dayanarak, insan hatası, aktif başarısızlıklar ve gizli başarısızlıklar olmak üzere iki kategoride gruplandırılmıştır. Bu başarısızlıklar proaktif risk yönetimi stratejisi kullanılarak olumsuz bir olay meydana gelmeden önce belirlenebilir ve düzeltilebilir (Reason, 2000).

Bu ve benzer sebeplerle, deniz kazalarının meydana gelmesinde etkili olan insan hataları ve örgütsel faktörleri incelemek, yorumlamak ve en aza indirmek için gerekli önlemleri almak önemli bir durumdur (Hetherington vd., 2006; Yıldırım, 2016). Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde insan hatasını ortadan kaldırmayı veya en aza indirmeyi amaçlayan birçok kaza çalışmasının olduğu görülmektedir (Çelik ve Çebi, 2009; Chauvin vd., 2013; Chen vd., 2013; Uğurlu vd., 2015).

İnsan hatasının en çok bakım tutum faaliyetlerinde ortaya çıktığı görülmektedir (Hemmatian vd., 2014). Yetersiz bakım insan hataları nedeniyle yangın ve patlama kazalarının meydana gelmesinde etken olan en önemli nedenlerinden biridir. Okoh ve Haugen, (2014) tarafından incelenen 80 kazanın yetersiz bakım tutumdan kaynaklandığı ve bu kazaların %44'ünde patlama ve patlamanın ardından %34'ünde yangının meydana geldiği tespit edilmiştir (Okoh ve Haugen 2014). Dhillon ve Liu (2006), bakım-tutumdaki insan hatasını incelemiş ve önemli bir sorun oluşturduğunu ifade etmiştir (Dhillon ve Liu, 2006). 1960 ve 2003 yılları arasında depolama tanklarında meydana gelen 242 kaza gözden geçirilmiş ve yangın/patlama kazalarının %85'i oluşturduğu ve kazaların %30'unun yetersiz işletme faaliyetleri ve ekipman bakım tutumunda yapılan insan hataları nedeniyle gerçekleştiği ortaya koyulmuştur (Chang ve Lin 2006). Kimyasal işleme endüstrisinde gerçekleşen kazalar ve olaylar incelenmiş, meydana gelen kazaların yaklaşık %30-40'ının ekipman bakım-tutumu ile ilgili faktörlerden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Okoh ve

Haugen 2013). Atlantik Okyanusu'ndaki kimyasal tanker Bow Mariner'de gerçekleşen yangın/patlama kazası bakım tutumla ilgili insan hatası nedeniyle meydana gelen büyük bir kazaya örnek gösterilebilir. Kaza, Metil Tert Butil Eter'in (MTBE) kalıntısının mürettebat tarafından temizlenmesi sırasında gerçekleşmiştir. Kaza, 21 can kaybına ve büyük miktarda MTBE, etil alkol, akaryakıtın deniz çevresine sızmasına neden olmuştur (Manuel, 2011). Kaza ile ilgili olarak görevlendirilen personelin yapılan iş için yetersiz olduğu ve personelin işin durumunun farkında olmadığı belirtilmiştir (USCG, 2004). Örnek olarak sunulabilecek diğer bir gemi kazası ise 2011 yılında Qian Chi tankerinde meydana gelen patlamadır. Kaza sonucunda 3 personel ciddi şekilde yaralanmış ve yangın mahallinde ciddi hasar meydana gelmiştir. Yağ ısıtıcı kazan brülörüne ait memenin yanlış takılması kazanın sebebi olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak, yakıt kazan brülörüne giden yolu takip etmiş ve ateşleme olayı başlamadan önce birikmiştir. Ateşleme olayı başladığı anda biriken yakıt patlamaya sebep olmuştur (ATSB, 2012). Uluslararası Endüstri Çalışma Grubu (IIWG) raporu kazaların çoğunun MARPOL Ek II maddeleri içerdiğini ve tank temizliği, havalandırma veya gaz serbest bırakılmasından kaynaklandığını vurgulamaktadır (MSC, 2006).

1.4. İnsan Faktörü Analiz ve Sınıflandırma Sistemi

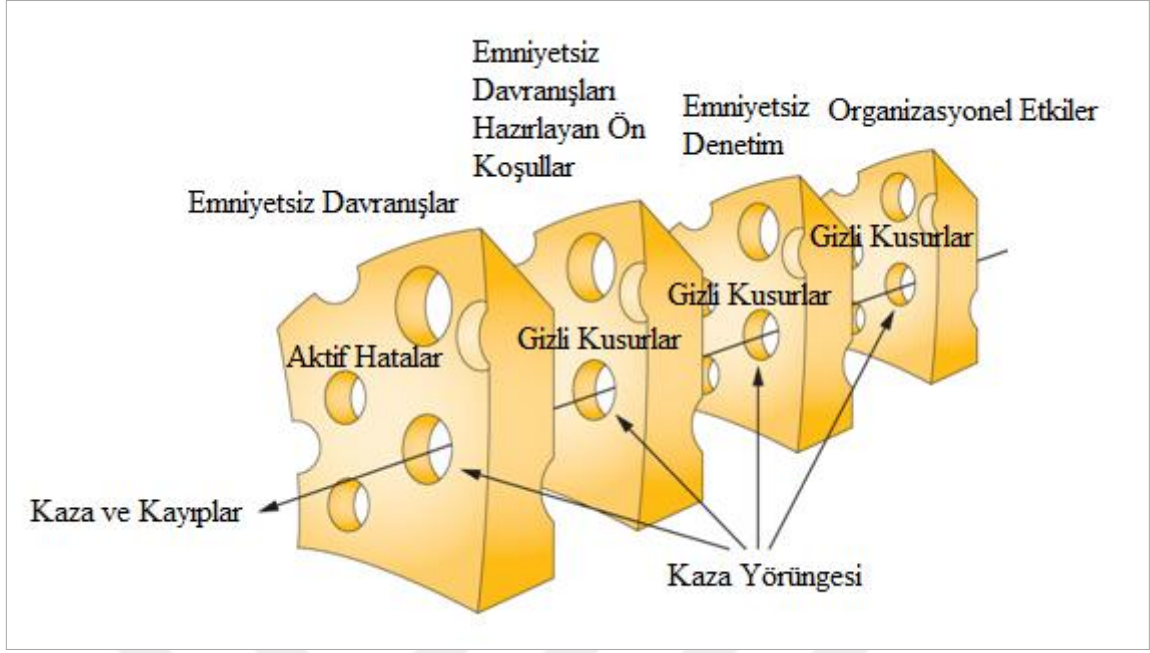
HFACS, kaza ve olaylara etki eden nedenlerin tanımlanması ve analizi için geliştirilmiş güvenilir genel bir insan hatası inceleme metodudur (Wiegmann ve Shappell, 2001). HFACS'ın uygulamaları ilk olarak askeri havacılıkta ortaya atılmıştır. Daha sonra uçak kazalarında ve havacılık sektörünün diğer alanlarında uygulamaları yapılmıştır. Reason tarafından oluşturulan İsviçre Peyniri modeli sayesinde havacılıkta ve diğer endüstriyel kuruluşlarda gerçekleşen kazalarda insan etkisi belirlenebilir (Patterson ve Shappell, 2010; Theophilus vd., 2017; Aliabadi vd., 2018). Bu yöntemin gerçek hayata uygulanmasının zorluğu ve yeteri kadar ayrıntı içermemesi nedeniyle araştırmacılar yeni bir kaza analiz modeli ihtiyacı duymuşlardır (Shappell ve Wiegmann 2003). Reason'ın oluşturduğu bu sınıflandırma metodunun geliştirilmesi sonucu günümüzde kullanılan HFACS modeli ortaya çıkmıştır. Shappell ve Wiegmann tarafından 2000 yılında tanıtılmış ve HFACS ilk olarak havacılık sektöründe meydana gelen kaza incelemelerinde kullanılmıştır (Shappell ve Wiegmann, 2000).

HFACS dört ana seviyeden ve bu seviyelerin ayrıldığı alt kategorilerden meydana gelmektedir (Dönmez ve Uslu, 2018). Reason'ın İsviçre Peynirindeki deliklere benzettiği gizli kusurlar ve aktif hatalar, HFACS sınıflandırma metodunda da aynı şekilde kullanılmaktadır. HFACS'ın en önemli avantajı insan faktörlerinin sistematik şekilde değerlendirilmesini sağlayarak kazaların oluşumunda etkili olan nedenlere ve alt nedenlere detaylı ve güvenilir bir şekilde ulaşmayı sağlamasıdır. İlk olarak kullanım noktası havacılık sektörü olması rağmen HFACS bütün sektörlerde uygulanabilir ve geliştirilebilir bir yapıya sahiptir (Wiegmann ve Shappell, 1997; Wiegmann ve Shappell, 2001). HFACS oluşumu ve kazalar üzerindeki etkin kullanımının anlaşılabilmesi için öncelikle Reason'un geliştirdiği kaza modelini incelemek gerekmektedir.

1.4.1. İsviçre Peyniri Modeli

Reason (1990), tarafından nükleer santrallerde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir analiz metodudur. Bu yaklaşıma göre bir işletmede etkinlik ve emniyetin varlığından söz edebilmek için o işletmeyi oluşturan ana birimler arasında uyumlu bir çalışma şekli sağlanmalıdır. İsviçre Peyniri modelinde kazalar; sistemi oluşturan bileşenler arasındaki uyumsuzluklar sonucu ortaya çıkan, istenmeyen sonuçlara neden olan olaylar olarak ifade edilmektedir (Reason, 1990; Baber, 2007). Reason; İsviçre Peyniri modelinde kazayı oluşturan faktörleri dört ayrı seviyede tanımlamıştır ve bu dört seviye gizli kusurlar ve aktif hatalar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmıştır. (Reason, 1990) (Şekil 6). Modeli oluşturan dört seviye aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

1. Örgütsel etkiler (gizli kusurlar): Örgüt yapısının hatalı, eksik, yetersiz takım kültürü gibi olumsuz durumlardır. Bu durumlar birebir kaza etkeni olmayabilir ancak kazalara zemin hazırlar. Denetim ve yönetim mekanizmasının iyi çalışması ile ortadan kaldırılabilirler.
2. Emniyetsiz denetim ve yönetim (gizli kusurlar): Denetimin eksik yapılması, kontrol mekanizmasının yetersiz olması nedeniyle meydana gelen hatalı davranışlar, örgütsel etkiler tespit edilip önlenemez.
3. Emniyetsiz davranışları hazırlayan ön koşullar (gizli kusurlar): Zihinsel yorgunluk, uykusuzluk, aşırı iş yükü gibi performansı etkileyen durumları içerir.
4. Emniyetsiz davranışlar (aktif hatalar): Diğer seviyelerde bahsedilen faktörlerin birbirleri ile etkileşmesi sonucunda oluşan durumdur.



Şekil 6. Reason'un İsviçre Peyniri modeli (Baber, 2007; Reason, 1990).

İsviçre Peyniri modeli kazaların oluşumunu, ilk üç seviyedeki eksikliklerin, 4.seviyedeki emniyetsiz davranışların ortaya çıkmasında etken olduğunu, bunun sonucunda operatörlerin emniyetsiz eylem ve davranışlarda bulunması olarak açıklar. Kaza oluşumundaki gizli koşullara çoğu durumda kaza gerçekleşene kadar dikkat edilemediğini ifade eder (Reason, 1990). Reason, insanların hata yapmaya meyilli olduklarını, bu yüzden hatalara karşı önlem ve tedbirin belirlenerek uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Reason'ın modeli, değişik sektörlerde çok sayıda araştırmacı tarafından insan faktörünün kazalardaki etkisini araştırmak ve anlamak için kullanılmıştır (Perneger, 2005; Reason vd., 2006; Sheridan, 2008; Underwood ve Waterson, 2014).

1.4.2. HFACS Yapısının İçeriği

HFACS Reason'un İsviçre Peyniri modeline benzer şekilde insan faktörünü; dört ana çatı altında incelemektedir (Shappell ve Wiegmann, 2000; Wiegmann ve Shappell, 2001).

1. Seviye: Kurumsal etkiler; kaynak yönetimi, örgüt iklimi ve örgütsel süreç olmak üzere 3 alt sınıfa ayrılmıştır.

- Kaynak yönetimi; insan kaynakları, ekipman ve tesis tahsisi ve bunların bakımı ile ilgili kurumsal düzeydeki olumsuz durumunu içerir. Kaynak yönetimi, türüne

göre kaynakları 3 alt sınıfa ayırır;

- İnsan kaynağı: Personel donatımı ve personel eğitimini kapsar.
- Finansal/bütçe kaynağı: Maliyet düşürme, finansman yetersizliğini kapsar.
- Ekipman/tesis kaynağı: Yetersiz, hatalı dizayn ve uygunsuz ekipman donatımını içerir.
- Örgüt iklimi; Örgütün içinde bulunduğu çalışma alanını ifade eder. Çalışma ortamında gelişen olumsuz durumlar çalışanların etkilenmesine neden olur.. Örgüt iklimi 3 alt kategoriye ayrılır.
- Örgüt yapısı: Emir komuta zinciri ve hiyerarşik yapıdaki yetersiz durumlar, yetki dağıtımı ve iletişim eksikliklerini kapsar.
- Politikalar: İşe alma ve işten çıkartma, görevde yükselme, uyuşturucu ve alkol kullanımı gibi politikaları içerir.
- Örgüt kültürü: Örgüt içinde yer alan bireylerin paylaştıkları değerler, standartlar, inançlar ve anlayışlar gibi unsurların oluşturduğu topluluğunu ifade eder.
- Kurumsal süreçler; örgüt yönetimi ile çalışanlar arasındaki dengeyi sağlamak ve korumak için uygulanan standart işletim prosedürleri, kurumsal karar ve kuralların varlığını içerir. Kurumsal süreçler 3 alt kategoriye ayrılır.
- Operasyonlar: Operasyon planlaması, zaman baskısı, yetersiz teşvik, ölçüm/değerlendirme, eksik planlama gibi faktörleri içerir.
- Prosedürler: Sınırları açıkça ifade edilmiş görevler, standartlar ve talimatlar ile ilgili eksiklikleri ifade eder.
- Gözden kaçırma: Risk yönetimi ve emniyet sistemi değerlendirmesi ile ilgili eksiklikleri kapsar.

2. Seviye: Emniyetsiz denetim; yetersiz denetim, planlanan uygunsuz planlanan operasyonlar, bilinen bir problemi çözmede başarısızlık ve denetim ihlalleri olmak üzere 4 alt çatıya ayrılmıştır.

- Yetersiz denetim: Denetim komuta zincirinden kaynaklanan başarısızlıkları ifade eder. Bireylerin yeterli eğitim, profesyonel rehberlik, gözetim ve operasyonel liderlik alamaması gibi durumlar örnek verilebilir.
- Uygunsuz planlanan operasyonlar: Önceden planlanmış bir operasyonun planlama sürecindeki eksikliklerden ve hatalı kararlardan dolayı bireylerin öngörülemez bir riskle karşılaşması ve sonuçta performansın olumsuz yönde etkilenmesi

durumdur. Mürettebatın uygunsuz eşleştirilmesi, mürettebatın dinlenme süresi ve belirli operasyonlar ile ilgili risklerin yönetilmesi örnek verilebilir.

- Bilinen bir problemi çözümede başarısızlık: Bireyler, ekipman, eğitim veya diğer ilgili güvenlik alanları arasındaki eksikliklerin süpervizör tarafından bilindiği ancak düzeltilmeyen devam etmesine izin verilen durumlar anlamına gelir.
- Denetim ihlalleri: Denetleme mekanizması tarafından yapılan ihlallerdir. Mevcut kurallar ve düzenlemelerin varlıkları yönetirken denetçiler tarafından kasıtlı olarak dikkate alınmadığı durumları ifade eder.

3. Seviye: Emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar; operatörler tarafından emniyetsiz eylemleri etkileyen ve kaza oluşumunda etken olan faktörleri içerir. Bu çatı HFACS kapsamında iki ana alt bölüm olarak tanımlanır.

- Operatörlerin standart altı durumları; emniyetsiz davranışlara sebep olan Operatörlerin standart altı durumları üç alt başlıkta incelenir.
 - Ters zihinsel koşullar: Zihinsel açıdan bir işi yapmaya hazır olmanın önemine vurgu yapılmıştır. Olumsuz zihinsel durumun hatalara ve ihlallere zemin hazırladığı belirtilmiştir. Bunların başında durumsal farkındalık kaybı, zihinsel yorgunluk, ve kararları olumsuz yönde etkileyen ve emniyetsiz eylemlere katkıda bulunan aşırı güvensizlik, rahatlama ve yanlış yerleştirilmiş motivasyon gibi zararlı tutumlar verilebilir.
 - Ters fizyolojik koşullar: Ters zihinsel koşullarla eşit derecede önemli olan, uçuşun güvenli bir şekilde yapılmasını engelleyen olumsuz fizyolojik durumlardır. Özellikle havacılıkta önemli olan, mekânsal oryantasyon bozukluğu, görsel yanılsamalar, hastalık, sarhoşluk ve performansı etkilediği bilinen bir dizi farmakolojik ve tıbbi anormallik gibi durumları ifade eder.
 - Fiziksel ve zihinsel sınırlamalar: Gerekli duyuşal bilgilerin mevcut olmadığı veya bireylerin güvenli bir şekilde başa çıkma yeteneklerine, becerilerine ve zamana sahip olmadıkları durumları içerir. Havacılık için görsel alandaki nesnenin büyüklüğü veya kontrastından ötürü başka uçak veya engellerin görmemesi örnek gösterilebilir.
- Operatörlerin standart altı uygulamaları; mürettebat üyelerinin koordineli bir şekilde hareket etmesini sağlamadaki başarısızlık gibi karışıklıklara ve alınacak yanlış kararlara yol açan durumlardır.

- Mürettebat kaynak yönetimi: Bu kategori personelin bir ekip olarak birlikte çalışmadığı ve operasyonların yürütülmesinden sorumlu kişilerin bir operasyon sırasında faaliyetleri koordine etme başarısızlığı gibi durumları içerir. Başarısız ve yetersiz iletişim, yetersiz takım yönetimi bu durumlara örnektir.
- Kişisel hazırlık: Eşit derecede önemli olan bireylerin görev için uygun bir şekilde hazırlanmalarını ifade eder. Bununla birlikte, mevcut kuralları veya düzenlemeleri ihlal etmeyen davranışlar bile, bireyin işletme yeteneklerini azaltabilir. Bu nedenle mürettebatın dinlenme gereksinimlerini göz ardı etme, alkol kısıtlamalarını ihlal etme veya kendi kendine ilaç alma gibi kurallara uyulmadığı durumlarda, kişisel hazırlık kategorisi oluşturulmuştur.

4. Seviye: Emniyetsiz eylemler; kazanın meydana gelmesinde etkili olan hatalar ve ihlaller olarak iki alt sınıfa ayrılmıştır. Hatalar ve ihlaller de kendi içinde alt kategorilere ayrılmıştır.

- Hatalar; kanunlara aykırı olmayan, içerisinde bir kasıt bulundurmeyen fakat sonucu başarısızlığa sebep olan eylemlerdir.
- Karar hataları: Operatörlerin (pilotlar) uygunsuz ve yetersiz kararlarını, karar verirken yaptıkları hataları kapsamaktadır. Operatörlerin (pilotlar) yetersiz ve uygunsuz kararlarını ifade etmektedir. Bu hata türü "dürüst hatalar" olarak da adlandırılmaktadır. Yöntemlerin ve prosedürlerin eksik ya da zayıf uygulanması, yanlış seçimler, bilginin yanlış yorumlanması veya kullanılması gibi durumlar bu hata grubuna örnektir.
- Beceri temelli hatalar: Herhangi bir bilinçlilik hali ya da düşünce gerektirmeyen durumlarda yapılan hatalardır. Mesleki deneyim ve eğilim ile ilişkili beceri temelli hataları içerir. Başarısız gözcülük, yanlış tuş veya butonların aktif veya pasif hale getirilmesi kontrol listesi adımlarını atlamak gibi hatalar bu gruba örnektir.
- Algılama hataları: Kişilerin algı durumlarıyla ilgili, buldukları çevrede gerçekleşen eylemleri hatalı algılamalarıyla meydana gelen hatalardır. Gece koşulları, kötü hava koşulları gibi alışılmadık dışında olan çevresel faktörlerin algıyı azaltmasıyla ortaya çıkmaktadır. Mesafenin, alçalma oranının veya yüksekliğin yanlış ölçülmesi veya görsel yanılgılardan dolayı yanlış geri bildirimler verilmesi algılama hataları içerisinde yer alır.
- İhlaller; Kasıtlı olarak ve bilerek kurallara ve yönetmeliklere karşıt yapılan hareketlerdir.

- Rutin ihlaller: Kural ve prosedürlere uyulmaması alışla gelmiş ve dikkat edilmeyen bir durumdur. Rutin ihlaller, genellikle kurallara uymayan yöneticilerin otoritesi altındaki bireyler tarafından yapılmaktadır. Sürekli şekilde olumsuz hava koşullarının içinde uçan pilotlar, kalkış ve varış kontrol listelerinde atlanan kontrol adımları rutin ihlallere örnek gösterilebilir.
- İstisnai ihlaller: Bireyin kendine olan güveni, zorunluluk halleri gibi nedenlerle prosedür ve kuralların ihlal edilmesidir. Yasak olan bir hava sahasında uçmak veya uçuş sırasında hız sınırını aşmak gibi durumları kapsar.

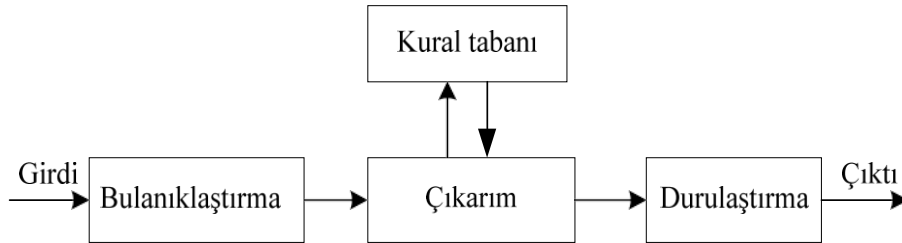
1.5. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi (FFTA)

Bu çalışmada kullanılan veriler yalnızca olasılık numaraları değil aynı zamanda bulanık sayılar olarak temsil edilebileceği için geleneksel olasılık yöntemleri araştırma için yeterli olmayacağından bulanık yaklaşımli hata ağacı analiz yöntemi kullanılmıştır (Misra ve Weber, 1990; Onisawa, 1990). Bulanık sayılar, hata ağacının alt seviyesindeki temel olayların olasılığını hesaplamak için kullanılır. FFTA yöntemi ile tepe olayın gerçekleşme olasılığını hesaplamak için nicel sonuçlar elde edilir. Tepe olayın (TE) olasılığının yanı sıra, FFTA yönteminin bir başka avantajı da, TE'nin oluşumuna katkı sağlayan temel olayların (BE) önem derecesini ölçebilmesidir (Tanaka vd., 1983). Bu nedenle çalışmada kullanılan FFTA metodunun incelenmesi hata ağacının alt seviyesindeki BE'lerin oluşma olasılığını belirlemek amacıyla bulanık sayıların kullanıldığı yerlerde kullanılabilir (Misra ve Weber, 1990).

1.5.1. Bulanık Mantık Yaklaşımı Metodu

Bulanık mantığın modern anlamda ilk kurucusu olarak Azerbaycan asıllı Prof. Dr. Lütfi A. Zadeh gösterilmektedir (Bih, 2006). Zadeh, belirsiz durumların anlaşılabilmesi için farklı bir matematiğin kullanılmasını gerektiğini ileri sürmüştür (Wang, 1997). Bulanık mantık, günümüzde karmaşık ve zor olan problemlerin çözülmesinde sağladığı kolaylık ve kullanılabilirlik nedeniyle; birçok uygulama alanında kendine yer bulmuştur. Bulanık mantık, belirsiz durumlar için kullanılan sözel ifadeleri insan düşünce yapısına uygun durumda matematiksel bir temele dayandırarak bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlamaktadır (Akıllı ve Atıl, 2014). Zadeh, klasik mantıktan farklı olarak ara değerlerin

de göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade etmiştir (Zadeh, 1965). Klasik mantıkta, 0 veya 1 gibi iki zıt ve sınır değer bulunmaktadır. Bulanık mantıkta ise yalnızca 0 ve 1 değerleri yer almamakta ve bu iki sayı arasında 0,5 gibi ara değerlerde yer almaktadır (Klir ve Yuan, 1995). Bulanık mantık yönteminde, kesin değerlere dayanan düşünce sistemi yerine, yaklaşık düşünce sistemi ve terimleri kullanılmaktadır (Zadeh, 1965). Bulanık mantık, birbirinden farklı birçok disiplinde (matematik, fen, sosyoloji, mühendislik gibi) ve farklı konularda kullanılarak bilim insanlarının odağı olmuştur. Bulanık mantık kavramının uygulandığı en önemli alanlar, Mamdani' nin tarafından 1974 yılında gerçekleştirilen buhar makinesi kontrolü, 1980 yılında Smith&Co. tarafından oluşturulan bir çimento fırını kontrolü ve 1987 yılında Japonya'da Hitachi şirketi tarafından tasarlanan Sendai metrosunun kontrolüdür (Alkan, 2011). Bulanık yöntemlerle bir sistemin modellenmesinde yaklaşıklık ve çözümlülüğe ulaşılmaktadır (Işıklı, 2008). Bulanık mantığı, klasik mantık sistemlerinden ayıran önemli bir farklılık ise dilsel değişkenlerin kullanımına izin vermesi olmuştur. Bulanık mantık yaklaşımına uygun gelen modelleme problemleriyle karşılaşıldığında, genellikle bir uzmanın tecrübe ve bilgisinden yararlanılmaktadır. Uzman kişi; sözlü değişkenler olarak ifade edilen “uygun, uygun değil, alçak, biraz alçak, az, çok az, kısa, çok kısa” gibi günlük yaşantıda sıkça kullanılan kelimelerle derecelendirme yaparak, esnek bir denetim mekanizmasını oluşturmaktadır. Böylece sözsel ifadeler, değişken değeri olarak bir dilde yer alan sözcükleri kullanarak, net olarak ifade edilemeyen karar ve kavramların yaklaşık olarak nitelenebilmesini sağlar (Zadeh, 1975). Standart bir bulanık sistem; kural tabanını, üyelik fonksiyonunu ve çıkarım prosedüründen oluşmaktadır (Mendel, 1995) (Şekil, 7).



Şekil 7. Bulanık mantık işlem sürecinin elemanları

Genel bilgi tabanı, incelenecek olayı etkileyen girdi faktörlerini ve bu faktörler hakkındaki bütün bilgileri içermektedir. Bu, veri tabanı veya giriş olarak adlandırılır. Bulanık kural tabanı birimi veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal ‘‘Eğer-İse’’ türünde ifade edilebilen tüm kuralları içerir (Konaçoğlu, 2017). Sisteme bağlı bu kurallar yazılırken, girdi ve çıktılar arasında yer alabilecek bütün aralık bağlantıları göz önünde bulundurulur. Bu bağlamların hepsi bir araya gelerek kural tabanının oluşmasını sağlamaktadır (Şen, 2009). Çıktı birimi, bulanık kural tabanı ve bilgilerin bulanık çıkarım motoru ile sağlanan çıktı değerlerinin tamamını ifade etmektedir (Mitchell, 1982).

Bulanıklaştırma, bulanık kümelerin sisteme uyum sağlayacak şekilde oluşturulmasıdır. Bu aşamada, dışarıdan gelen veri setlerinin, sistemin çıkarım mekanizması ile bulanık kural tabanındaki kayıtlı olan verilerin kullanılarak işlenmesi için gerekli olan hazırlıklar yapılmaktadır (Wang, 1997). Küme sözcüğü dilbilimsel değişeni veya bulanık genellemeyi ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır (Timothy, 1995). Burada bulanık girdi değerleri elde edebilmek amacıyla üyelik fonksiyonları depolanır; tanımlamada ise, kişisel kümeler ve bağıntılar kurulmaktadır. Kullanılan veri setlerinin, bulanık kümelere dönüştürülmesi sağlanmaktadır (Baron, 1993).

Durulaştırma, bulanık sayı veya bulanık küme elemanlarının gerçek sayıya dönüştürüldüğü süreç olarak ifade edilmektedir (Bayram vd., 2002). Bu kısımda, bulanık çıkarımda oluşturulan bulanık kümeden kesin bir değer elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu aşamanın amacı elde edilen bulanık kümenin, gerçek hayatta kullanılabilir olması amacıyla sayısal bir değere sahip olmasını sağlamaktır (Baykal ve Beyan, 2004). Bulanık küme veya sayılara ait önermelerde çoğu kez üyelik değerinin en büyük olduğu noktaya karşılık gelen değer, problemin çözümü olan tek değer olarak ifade edilmektedir. Önerme sonucunda tek bir değere ulaşamadığı durumunda en büyük değerlerin ortalaması çözüm değeri olarak kabul edilir. Böylece kullanılan fonksiyonun değeri sadece 0 ile 1 olarak ifade edilmez, bu sayılar arasında bulunan herhangi bir sayıyı da fonksiyon değeri olarak alabilir. Bulanık sonuç elde etme süreci, probleme ait bulanık önerme değişkenlerinin ve karar verme kurallarının belirlenmesi ile üyelik fonksiyonunun oluşturulması işlemlerinden oluşur.

Bilgisayarlarda kullanılan bulanık mantık sisteminde bir önermenin bulanıklaştırılması işlemi üç aşama şeklinde olmaktadır. Birinci aşamada, sahip olunan problemin çözüm alanı belirlenir. Bu işlem için bulanık önerme değişkenlerinin kuralları kullanılır. Karar verme kuralları ‘‘veya’’ bağlacı ile bağlanmış ise üyelik fonksiyonlarının

büyük değeri “ve” bağlacı ile bağlanmış ise o zaman üyelik fonksiyonlarının küçük olan değeri alınarak ortak çözüm alanı oluşturulur. İkinci aşama, bulanık girişim de denilen davranış belirlemede, girdi değerleri ile elde edilen dilbilimsel kuralların sayısal verilere dönüştürülmesi sürecidir. Üçüncü aşamada yani durulaştırma aşamasında ise, tüm veri çıktıları birleştirilerek sayısal bir değer elde edilir (Öztemel, 2003). Bir bulanık kümenin bileşimi, sınırı ve yapısı belirsizdir. Diğer bir deyişle bulanık kümeye ait olan elemanları kümeye ait olmayanlardan kesin bir şekilde ayırmak ve belirlemek mümkün değildir. Bulanık kümeler kavramı, kümenin kapsadığı elemanların kesin sınırlarla belirlenmemiş olması durumunu ifade etmektedir. Bulanık mantık da klasik mantıkta olduğu gibi belirli sınırlara sahiptir. Bulanık mantığı klasik mantıktan ayıran en önemli nokta, bu sınırların daha esnek olması ve bu sınırların duruma göre değişmesidir (Wang 1997; Bayram 2002).

1.5.2. Hata Ağacı Analiz Metodu (FTA)

Hata ağacı analizi (FTA), 1962 yılında, Bell Laboratuvarlarında A. Mearns ve H. Watson tarafından hava kuvvetleri roket hedefleme kontrol sistemlerinin güvenlik değerlendirmesini yapmak için oluşturulmuş bir tekniktir. FTA, uzay ve havacılık sanayi için geliştirilmiş ve birçok alanda kabul görerek güvenlik değerlendirmeleri için kullanılmaya başlanmıştır (Ericson, 1999; Ericson, 2005). FTA metodunun adı, sistemin arızalanmasında etken olabilecek hatalara ulaşılmasını sağlayan ağaç şeklindeki grafik yapısından gelmektedir (Peeters vd., 2018). FTA, kazaların ortaya çıkışını göstermek için, ilk olayların önem derecesini ortaya koymak için kullanılan bir analiz metodudur (Uğurlu vd., 2015). Bir hata ağacı, niteliksel ve niceliksel olarak karmaşık bir sistemin emniyetini ve güvenilirliğini tahmin etmek için sistematik bir yaklaşımdır (Kristiansen, 2005; Wang vd. 2013). FTA, hataların ve hata olaylarının dizilerinden kaynaklanan TE olasılığını değerlendirmek için kullanılan mantıklı ve şematik bir yöntemdir (Lavasani vd., 2011). Belirli bir sorunun kök nedenlerinin belirlenmesinden sonra, istenmeyen bir olayın olasılığının belirlenmesi için kullanılan bir metodudur (Goodman, 1988; Ringdahl, 2005). Bir hata ağacının temel öğeleri en son olay, temel olaylar, orta olay ve mantıksal kapılar olarak sınıflandırılabilir (Antao ve Soares 2006). Hata ağacı diyagramı “Tepe Olay” ile başlamaktadır. Hata ağacı modeli, TE’nin kök nedenlerine ulaşmaya kadar alt nedenlerin belirlenmesiyle tamamlanır (Yuhua ve Datao, 2005).

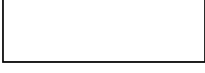
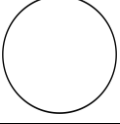

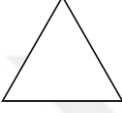



FTA, Boolean mantığı kullanılarak sistem güvenilirliğini tahmin etmek için yukarıdan aşağıya tümdengelimli bir analiz yöntemidir. Hata ağacı, ağacın eşdeğer bir Boolean denklemleri kümesiyle temsil edildiği Boolean matematiğinin kuralları ile analiz edilir (Cheliyan & Bhattacharyya, 2017). Boolean kapıları, girişler ile çıkış arasındaki bağlantıyı kurmaktadır. Boolean cebirleri, ağaç diyagramını matematiksel olarak temsil etmek ve her mantık geçidinin çıktısını hesaplamak için kullanılır (Ericson, 2005; Huang vd., 2004). Boolean matematiğinde “x” ve “+” olmak üzere sınıflandırılmış iki farklı tür temel işlem bulunmaktadır. Bu işlemlerin mantıksal kapı olarak karşılığı “Ve” ve “Veya” kapıları şeklinde ifade edilir. Mantıksal diyagram içinde kullanılan tüm mantık kapılarının olasılıkları ve olasılık teoremleri Boolean matematiği kullanılarak hesaplanır (Mukherjee, 2019) (Tablo, 4).

Tablo 4. Boolean matematiğinin temel kuralları (Mukherjee, 2019).

Birleşme Kuralı (Associative Law)	$(A + B) + C = A + (B + C)$
	$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
Değişebilirlik Kuralı (Commutative Law)	$A + B = B + A$
	$A \cdot B = B \cdot A$
Dağılma Kuralı (Distributive Law)	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$
	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Soğurma Kuralı (Absorption Law)	$(A \cdot B) + A = A$
	$(A + B) \cdot B = B$
Fazlalık Kuralı (Redundance Law)	$A \cdot (A + B) = A$
Özdeşlik Kuralı (Identify Law)	$(A + A) = A$
	$A \cdot A = A$
De Morgan Kuralı (De Morgan Law)	$(A + B) = A \cdot B$
	$(A \cdot B) = (A + B)$

Bir hata ağacı analiz modelinde çeşitli semboller kullanılmaktadır. Hata ağaçlarında, olaylar (kök nedenler) ve mantıksal kapılar temel kavramları oluşturmaktadır. Bu metot da Ve - Veya yaklaşımı benimsenmiştir. Prensip olarak, hata ağacı diyagramlarında Ve- Veya kapıları gibi mantıksal operatörler kullanılır. Bir Ve kapısının çıkışı tüm giriş olaylarının birleşiminden etkilenir. Ve kapısı, tüm giriş olaylarını içeren kümelerin kesişimi olarak tanımlanabilir. Farklı olarak, bir Veya kapısının çıkışı, giriş olaylarından birinin olup olmamasına bağlıdır. Veya kapısı tüm girdi olaylarını içeren setlerin birliği olarak tanımlanabilir (Stapelberg, 2008) (Tablo, 5).

Tablo 5. Hata ağacı analizinde kullanılan semboller (Stamatelatos ve Caraballo, 2002).

SEMBOL	TANIM
	Olay: Mantık kapısı ile bağlı daha basit olayların veya faktörlerin kombinasyonu ile ortaya çıkan; daha temel olayların etkileşimi ile gerçekleşen olay.
	Temel olay: Birincil durumdaki olay için kullanılır. Daha ileri bir gelişimi gerektirmeyen olay
	Durumsal olay: Mantık kapısı ile bağlı yapılması zorunlu olay.
	Transfer sembolü: Bağlantı ve birleştirme işlerinde kullanılır. Ağacın başka bir yerde daha ileri noktaya geliştiğini gösterir.
	VE kapısı: Sadece sembol altındaki girdi olaylarının gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın meydana gelmesi.
	VEYA kapısı: Sembolün altındaki bir veya birden fazla olaydan en az herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın meydana gelmesi.
	Gelişmemiş olay: Sebebi tanımlanmamış ve belirsiz bir son olayı tanımlanmaktadır.

Mantık kapılarının matematiksel ifadesinde; T ile gösterilen tepe olayını (TE), temel olaylara (BE) X_i ile X_N bağlamaktadır. Bu ifadede N, temel olayın sayısıdır. X_i olayının başarısız olma olasılığı $Q(X_i)$ 'dir. Ardından, bağlantı kapısının Ve ya da Veya olduğu durumlarda tepe olayın $Q(T)$ olarak belirtilen hata olasılığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Ve kapısı için;

$$Q(T) = \prod_{i=1}^N Q(X_i) \quad (1)$$

Veya kapısı için;

$$Q(T) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - Q(X_i)) \quad (2)$$

Hata ağacı analizinin uygulanması üç temel adımda gerçekleştirilir. İlk adımda analizi gerçekleştirilecek sistemin durumu, istenmeyen olay veya hata incelenir. İkinci adımda istenmeyen olay veya hatadan yola çıkılarak hata ağacı oluşturulur. Son adımda ise oluşturulan hata ağacının nicel değerlendirilmesi yapılarak sistemin güvenilirlik durumu tespit edilir (Şekil 8).



Şekil 8. Hata Ağacı analizinin uygulama şeması (Yavuz, 2018).

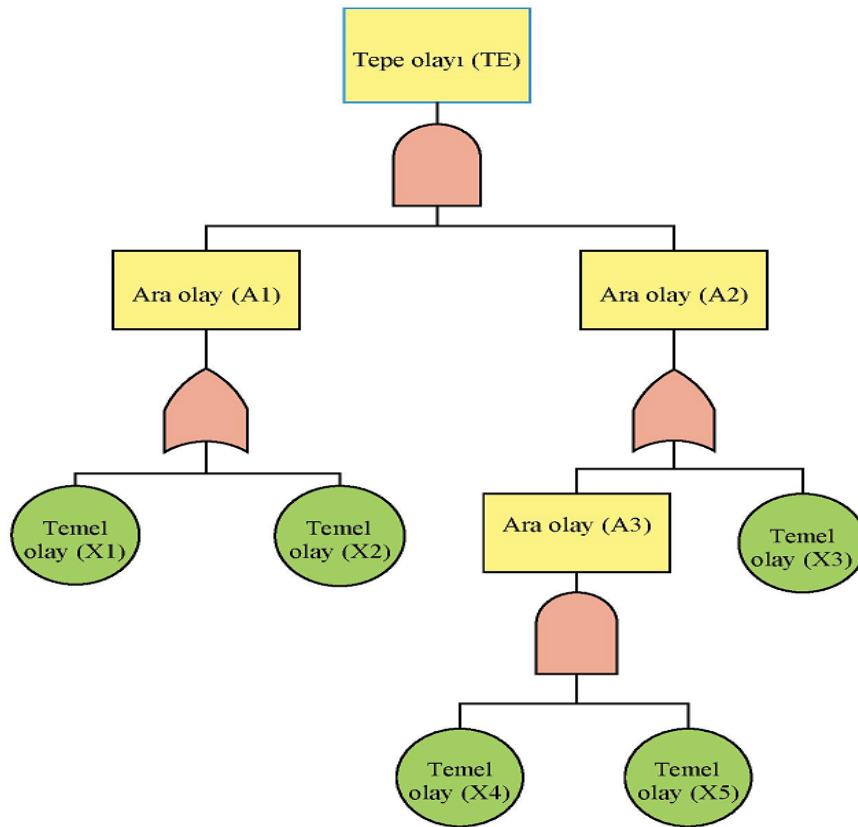
Hata ağacını temsil ederken Boolean cebir denklemlerini kullanmanın en önemli nedeni, minimum kesim kümelerini belirlemektir. Temel olayların (BE) kombinasyonları TE'nin oluşumuna yol açan ve en küçük kesme kümeleridir (Stamatelatos ve Caraballo, 2002; Martins ve Maturana 2010). Minimum kesim kümesi (MCs), minimum sistem bileşen seti olarak tanımlanır ve sistemde oluşan bir mantık kümesi şemasıdır (Haegeman vd., 2011).

Genel olarak, hata ağacı analiziyle olasılıksal güvenlik değerlendirilmesi üç ana analiz türünden oluşur;

- (i) hata ağacındaki kesim setlerini değerlendirmek için nitel analiz,
 - (ii) kesim seti başarısızlık olasılıklarını ve en iyi olay başarısızlık olasılığını hesaplamak için kantitatif analiz,
 - (iii) temel bir olay ve bir kesim setinin en üst olay başarısızlık olasılığına ne kadar katkıda bulunduğunu görmek için önem önlemi değerlendirilmesi
- (Rajakarunakaran vd., 2015).

Örnek hata ağacı analizi uygulamasında TE ve ara olaylar “Ve” kapısı ile BE’ler ise “Veya” kapısı ile bağlanmıştır. Örnekte TE makine dairesi yangını, ara olaylar (A1) yanıcı madde kaynağı ve (A2) yakıcı madde kaynağı olarak verilmiştir. Yakıt kaçağı, yağ sızıntısı, ana makine egzoz sistemi ve ana makine sıcak yüzeyi ise hata ağacında bulunan TE’nin gerçekleşmesinde etken olan BE’ler olarak ifade edilmiştir. Verilen bu bilgiler ışığında Ve kapısı işleminde; A1 ve A2 çıkışı olmak üzere iki Boolean değişkeni vardır;

1. T: Tepe olayı, A1 ve A2, iki olayı temsil eder,
2. P(T): T Tepe olayının gerçekleşme olasılığı,
3. P: olasılık ($0 \leq P \leq 1$)
4. P(A1): A1 Olayının gerçekleşme olasılığı
5. P(A2): A2 Olayının gerçekleşme olasılığı
6. Tepe olayının VE-Kapısı ile gerçekleşme olasılığı; A1 olayının gerçekleşme olasılığı ile A2 olayının gerçekleşme olasılığının çarpımı ile elde edilir.
 $P(T) = P(A1).P(A2)$



Şekil 9. Örnek hata ağacı oluşumu

Örnek hata ağacı oluşumu aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$\text{Tepe olay (TE)} = A1 \times A2 \quad (3)$$

$$A1 = X1 + X2 \quad (4)$$

$$A2 = A3 + X3 \quad (5)$$

$$A3 = X4 \times X5 \quad (6)$$

Tepe olayına ait (3) denklemini, (4) ve (5) denklemleri kullanılarak kapı ifadelerine başlangıç olaylarının yerleştirilmesiyle tekrar yazıldığında ve düzenlendiğinde (7)'deki denklem elde edilir:

$$\text{TE} = (X1 + X2) \times (A3 + X3) \quad (7)$$

Daha sonra (6) denklemini ile tekrar düzenlendiğinde aşağıda belirtilen (8) denklemini elde edilir:

$$\text{TE} = (X1 + X2) \times (A3 + X3) = (X1 + X2) \times ((X4 \times X5) + X3) \quad (8)$$

1.5.3. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi Uygulamaları

1.5.3.1. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analiz Metodunun Gelişimi

FTA, Boolean cebri ve olasılık teorisine dayanmaktadır. Olayların kesin olasılıklarının verildiğini ve yeterli arıza verisinin mevcut olduğunu varsayan bir analiz metodudur (Suresh vd., 1996). İnsan hatalarına bağlı sistem modelleriyle ilgili yanlışlıkları, yalnızca geleneksel olasılıksal güvenilirlik teorisi ile ele almak zordur. Bulanık küme teorisi bu durumla başa çıkmak için kullanılabilir bir metod olarak kabul görmüştür. Bu nedenle, FFTA metodu bu ve benzer problemlerin çözülmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Geleneksel FTA' da, sistemin hata olasılıkları, bileşenler kesin değerler olarak ele alınır. Net yaklaşım, bir sistem bileşeninin hata oranını belirtmesi için sistem

modellemesinde yanlışlık veya belirsiz nitelikler sağlamada güçlük çekmektedir (Liang ve Wang, 1993). Bu sürekli olarak güncellenen bir ortamda, mevcut verilerin eksik veya istatistiksel çıkarımlar için yetersiz olduğu sistemlerde gerçekleşmektedir (Rajakarunakaran vd., 2015). Bu nedenle veri eksikliğinde, yaklaşık tahminlerle çalışmak gerekli olabilir. Bu koşullar altında, sistemin hata olasılığını hesaplamak için geleneksel FTA yeterli olmayabilir. Bulanık yöntemler, değişkenlerin dalgalanmalarına ilişkin nicel bilgilerin mevcut olmadığı tek yol olabilir (Misra ve Weber, 1990; Onisawa, 1990) ve BE'lerin olasılıkları bulanık sayılarla ifade edilir (Tanaka vd., 1983). Nicel sonuçlar değerlerin genel aralığını, örneğin büyüklük sırasını gösterdiği şeklinde yorumlanmalıdır. Hata ağacından elde edilen değişken bulgular ve önem dereceleri genellikle daha az belirsizliğe sahiptir. Kesim setlerinin sıralaması (cut sets) hesaplanan önem seviyelerine dayanmaktadır. FFTA' nın başka bir türü Misra ve Weber (1990) tarafından geliştirilmiştir. Analizleri, BE' lerle ilişkili olasılık dağılımına ve bu olayları birleştirmek için bulanık bir cebire dayanmaktadır. Buna paralel olarak, Singer (1990), L-R tipi bulanık sayıları kullanarak bulanık güvenilirliği analiz etmiştir. Bahsedilen bu çalışmalara ek olarak, Onisawa (1988), bir hata ağacında insan güvenilirliğini analiz etmek için hata olasılığını kullanmayı önermiştir. Onisawa' nın çalışmasını birleştirerek, Lin ve Wang (1997), bir FTA' da olasılık ve olasılık önlemlerini aynı anda ele alabilen bir karma yöntem geliştirmiştir. Sawyer ve Rao (1994), mekanik sistemlerin bulanık hata ağaçlarında TE' nin hata olasılığını belirlemek için " α -cuts" uygulamıştır. Cai vd., (1991) ve Huang vd., (2004) ise bulanık hata ağacı analiz yöntemi için olasılık teorisini benimsemiştir. Ping vd., (2007), olasılıksal önlemler ve bulanık mantık kullanarak geleneksel FTA'nın dezavantajlarının üstesinden gelen bir yöntem geliştirmiştir. Pan ve Wang (2007) FFTA' yı köprü inşaatının başarısızlıklarını değerlendirmek için kullanmıştır.

1.5.3.2. Tehlikelerin Ayrılması Aşaması

Bu aşamada BE'ler; bilinen başarısızlık oranı olayları ve bilinmeyen başarısızlık oranı olayları olarak değerlendirilir. Eğer olayın herhangi bir başarısızlık oranı biliniyorsa, bulanık yaklaşım olmadan hesaplanabilir. Bu çalışmada, bütün BE' lerin başarısızlık oranı bilinmediğinden bulanık yaklaşımlar kullanılacaktır.

1.5.3.3. Bilinmeyen Başarısızlık Oranının Olasılığını Belirlemek

Çoğunlukla, bir olayın başarısızlık olasılığı;

- İstatistiksel yöntem,
- Ekstrapolasyon yöntemi,
- Uzman değerlendirme yöntemi kullanılarak hesaplanır.

İstatistiksel yöntem, olasılığı hesaplamak için doğrudan test içeren deneysel verileri kullanır. Ekstrapolasyon yöntemi, model tahmini ve benzeri koşulların kullanılmasını veya standart güvenilirlik el kitabının kullanılmasını içerir (Lavasani vd., 2011). Uzman yargılama yöntemi ise uzmanların temel olaylarının olasılıklarını değerlendirmesidir.

1.5.3.4. Değerlendirme Aşaması

Bu aşamada, veri seti bulgularını değerlendirecek uzmanlar her temel olay için kendi öznel görüşlerini üretmektedir. Temel olay hata verisi değerlerinin doğruluğunu artırmak için uzman görüş yaklaşımları kullanılmaktadır. Sınırlı kaynaklar ya da fiziksel kısıtlamalar nedeniyle bazı olaylarda belirsizliği ortadan kaldırmak için, gerekli ve uygun çalışmaların yapıldığı aşamadır (Rausand ve Hoyland, 2004). Ayrıca bu metodoloji uzmanlara sadece kendi tecrübe ve bilgileriyle ilgili değerlendirme yapmalarını sağlar ve belirsizlikleri nicel olasılıklar olarak ortaya çıkarır. Uzman görüşlerinden elde edilen bulanık sayılar, BE'lerin olasılıklarını oluşturmak için kullanılır. Bu teknik zamanla birçok disiplinde kabul görmüştür. Psikoloji, matematik, Bayes istatistiği ve karar analizi, stokastik veri elde etmek için uzman çıkarma yöntem uygulama alanlarından bazılarıdır. Subjektif olasılıkların belirlenmesi bir çok durumda kullanılmaktadır (Korta vd., 1996).

Bir uzman, sisteme aşina olan, sistemin çalışma prensibini bilen ve bu konuda önemli eğitim ve bilgiye sahip kişidir. Uzmanlar, amaçlanan çalışma ile alakalı olan kişilerden seçilmiştir. Uzmanlar farklı uzmanlık seviyelerine, geçmişlerine ve çalışma deneyimine sahip olabilir. Uzmanlar, BE'leri sistem hakkındaki deneyimlerine ve bilgilerine dayanarak değerlendirir. Dolayısıyla, aynı olaylar hakkında farklı algılar gösterebilir ve öznel olarak farklı değerlendirmeler sağlayabilirler.

Bu çalışmada, belirsiz olayların olasılığını hesaplamak ve 'W' ile sembolize edilen uzmanların ağırlık puanlarını hesaplamak için heterojen uzman görüşü kullanılmıştır.

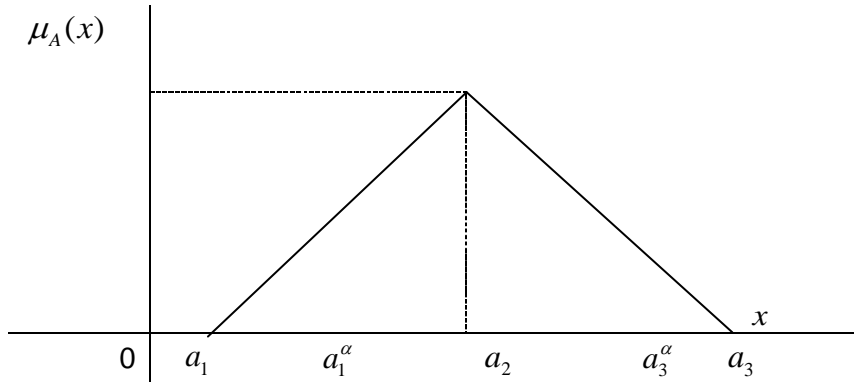
(W_{μ} ; *Weighting factor of expert*)

$$\text{Uzmanın ağırlık faktörü } (W_{\mu}) = \frac{\text{uzmanın ağırlıklı puanı}}{\text{tüm uzmanların ağırlıklı puanları toplamı}} \quad (9)$$

Uzman görüşlerinin değerlendirilmesi, her temel olay için uzman görüşlerini almada kullanılan dilsel terimlerle gerçekleştirilebilir. Dilsel terim kavramı, geleneksel nicel ifade ile tanımlanamayacak kadar karmaşık olan durumların tanımlanmasını kolay hale getiren bir yöntem oluşturmaktadır (Zadeh, 1965).

1.5.3.5. Bulanıklaştırma Aşaması

Bulanıklaştırma aşamasında uzman görüşlerinden elde edilen hata olasılık değerlendirmelerine ait sözel veriler sayısal verilere dönüştürülür (Rajakarunakaran vd., 2015). Literatürde yapılan benzer çalışmalarda farklı bulanık sayı biçimleri kullanılmıştır. Güvenirlik analizlerinde ise en sık kullanılan bulanık sayı kümeleri, üçgen bulanık sayılar (TFN) ve yamuk bulanık sayılardır (TZFN) (Soman, 1995). Bu bulanık sayıların oluşturduğu üyelik fonksiyonlarından hangisinin kullanılacağı değişken özellikleri, elde edilen veriler ve uzman görüşleri esas alınarak belirlenir (Wang vd., 2013). Bu çalışmada BE'lerin olasılık değerlerini saptamak için TFN kullanılmıştır (Şekil 10). TFN BE'lerin bulanık olasılık değerlerini (a_1, a_2, a_3) değişkenlerini içeren 3' lü set halinde temsil eder. A bulanık sayı kümesi ve $X \in A$ olmak üzere $\mu_A(X)$ A bulanık sayı kümesinin üyelik fonksiyonudur ve $R \rightarrow [0,1]$ aralındadır. A kümesinin $[a_1, a_3]$ aralığında olduğu kabul edilirse $\mu_A(X)$ üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde hesaplanır (Wang, 1997).



Şekil 10. Üçgensel üyelik fonksiyonu

$$(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1) & ; a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2) & ; a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & ; x \geq a_3 \end{cases} \quad (10)$$

1.5.3.6. Birleştirme Aşaması

Uzmanlar, tecrübe ve bilgiye bağlı olarak farklı fikirlere sahip oldukları için farklı kararlar verebilirler. Bu durumda önemli olan nokta tüm yargıları bir araya getirmek ve bir uzlaşma sağlamaktır. Bu nedenle her BE için uzlaşmaya varmak üzere “M” tane uzmandan elde edilen “m” tane nicel veriye birleştirme işlemi uygulanır. Hsu ve Chen (1994), hem homojen hem de heterojen grubun yargılarının birleştirilmesine ilişkin bir algoritma önermiştir. Her bir uzman $E_U(u = 1, 2, 3, \dots, M)$ şeklinde formülüne edilmiştir. Kendi görüşünü belirli bir bağlamla önceden belirlenmiş olan dilsel terimlerle ifade ettiği varsayılmıştır. Burada E uzmanı, u ise M tane uzmandan herhangi birini temsil etmektedir (Rajakarunakaran, 2015). Bu yaklaşıma göre, $\tilde{A}_1 = (a_{11}, a_{12}, a_{13})$ ve $\tilde{A}_2 = (a_{21}, a_{22}, a_{23})$ iki standart üçgen bulanık sayı kümesini oluşturmaktadır. Daha sonra, bu iki bulanık sayı kümesi arasındaki benzerlik derecesi, benzerlik fonksiyonuyla elde edilebilir.

\tilde{R}_1, \tilde{R}_2 : Bir çift uzman görüşü,

$S_{UV}(\tilde{R}_1, \tilde{R}_2)$: İki farklı uzman görüşünün anlaşma derecesi (benzerlik derecesi),

$S(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2)$: İki bulanık sayı kümesi arasındaki benzerlik derecesi,

$AA(E_u)$: Uzmanların ortalama anlaşması derecesi,

$RA(E_u)$: Uzmanların değişken anlaşma derecesi,

$CC(E_u)$: Uzmanın Konsensus Katsayısı derecesi,

\tilde{R}_{AG} : Uzman kararlarının toplam sonucu olarak ifade edilir.

$$1. \text{ Adım: } S(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = 1 - (1/3) \sum_{i=1}^3 |a_{1i} - a_{2i}| \quad (11)$$

2. Adım: M tane Uzmanın ortalama anlaşma (AA-Avarage Agreement) derecesinin hesaplanması:

$$AA(E_u) = \frac{1}{M-1 \sum_{\substack{U \neq V \\ V=1}}^M S(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2)} \quad (12)$$

3. Adım: M tane Uzmanın değişken anlaşma (RA-Relative Agreement) derecesinin hesaplanması:

$$RA(E_U) = \frac{A(E_U)}{\sum_1^M A(E_U)} \quad (13)$$

4. Adım: Uzmanın Konsensüs Katsayısı (CC-Consensus Coefficient) derecesinin hesaplanması:

$$CC(E_U) = \beta \cdot w(E_U) + (1 - \beta) \cdot RA(E_U) \quad (14)$$

$\beta(0 \leq \beta \leq 1)$ önerilen yöntemin gevşetme faktörüdür. $w(E_U)$ 'nin $RA(E_U)$ üzerindeki önemini göstermektedir. $\beta=0$ olduğunda uzmanın ağırlık faktörüne önem verilmez, uzmanlar arasında homojen dağılım vardır. $\beta=1$ olduğunda uzmanın, Konsensüs Katsayısı (CC) derecesi ile Ağırlık Önemi aynıdır. Yaptığımız çalışmada $\beta=0,5$ alınmıştır.

5. Adım: Son olarak uzman görüşlerinin Toplu sonuç (aggregated result) \tilde{R}_{AG} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{R}_{AB} = CC(E_1) \times \tilde{R}_1 + CC(E_2) \times \tilde{R}_2 + \dots + CC(E_M) \times \tilde{R}_M \quad (15)$$

1.5.3.7. Durulaştırma Aşaması

Durulaştırma işleminin amacı bulanık mantıkta ölçülebilir sonuçlar elde etmektir. Bulanık sayıların netleştirilmesi, belirsiz konularda karar vermek için oldukça önemlidir. Bulanık derecelendirmeler hata ağacı analizine ait bir probleme dahil edildiğinde, sonuçta elde edilen derecelendirmeler yine bulanık sayılardır. Bu sayılar arasındaki ilişkiyi belirlemek için bulanık sayının "Bulanık olasılık puanı" (FPS-fuzzy possibility score) olarak adlandırılan net bir puana (crisp score) dönüştürülmesi gerekir. BE'lerin FPS sayısı, uzman görüşü birleştirme aşamasında hesaplaması yapılan son üyelik fonksiyonundan elde edilir. FPS, bir uzmanın temel olayın gerçekleşme olasılığını değerlendirmesidir. Durulaştırma yöntemleri arasında mean max membership, centroid method, weighted average method, center of largest area, center of sums vb. yöntemler yer almaktadır (Wang,1997; Ross, 2004). Araştırmanın yapısına uygun olan durulaştırma tekniğini

seçmek oldukça önemlidir. Bu çalışmada basit ve anlaşılabilir olması nedeniyle en çok tercih edilen Merkezi Alan durulaştırma (center of area) yöntemi kullanılarak her bir temel olaya ait bulanık olasılık değerleri hesaplanmıştır (Çelik, Lavasani ve Wang, 2010). Bu teknik 1985 yılında Sugeno tarafından geliştirilmiştir (Sugeno, 1999).

Durulaştırma (Defuzzication) formülü :

$$X = \frac{\int \mu_f(X) dx}{\int \mu_f(X)} \quad (16)$$

Üçgen bulanık sayı $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ için formül aşağıdaki gibidir:

$$X = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} dx} = \frac{1}{3} (a_1 + a_2 + a_3) \quad (17)$$

Yamuk bulanık sayı için $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ için formül aşağıdaki gibidir:

$$X = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} dx} \quad (18)$$

$$= \frac{1}{3} \frac{(a_4+a_3)^2 - a_4 a_3 - (a_1+a_2)^2 + a_1 a_2}{(a_4+a_3-a_2-a_1)}$$

1.5.3.8. Hata Olasılığı Üretimi

Bazı durumlarda belirsiz verilerden dolayı başarısızlık olasılık değerini bulmak mümkün değildir. Belirsiz olayların başarısızlık olasılıkları (FF) ve CFP'leri arasında tutarsızlık vardır. Hata ağacı analizinde bulanık sayı kümesi kullanıldığı için gerçek olasılık verileri ile olasılık değerleri arasında tutarsızlık bulunmaktadır. Bu sorun, net başarısızlık olasılığının (CFP) başarısızlık olasılığı (FFP) formuna dönüştürülmesiyle çözülebilir. Bu işlem için aşağıda verilen bulanık hata olasılığı (FFP- Fuzzy Failure Probability) denklemi kullanılmıştır (Onisawa, 1998; Onisawa ve Nishiwaki, 1998).

$$FP = \begin{cases} \frac{1}{10^K}, CFP \neq 0 \\ 0, CFP = 0 \end{cases}, K = \left[\left(\frac{1-CFP}{CFP} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \quad (19)$$

1.5.3.9. Tepe Olayın Başarısızlık Olasılığı

Bulanıklaştırma aşaması ile başlayan ve Tepe Olayın Başarısızlık Olasılığı ile son bulan aşamalardan gerçekleştirilen işlemler sonucu elde edilen BE'lerin olasılık değerleri hata ağacına yerleştirilir ve TE olasılık değeri hesaplanır. Bu aşamada belirli sayıdaki MCs ve kesme kümelerine ait sayısal değerler bulunur. MCs'ler, TE'nin gerçekleşebilmesi için minimum olması gereken kombinasyonlardır. Eğer bir tanesi olmazsa TE gerçekleşmez. BE'lerin olasılık değerlerini hesaplandıktan sonra FTA ile TE'nin olasılık değeri elde edilebilir.

1.5.3.10. Önem Sıralaması

FTA sonucu sadece TE'nin olasılığı elde edilmemektedir. Bunun yanı sıra her bir kesme kümesinin mevcut risklerle ilgili karar vermedeki önemine de ulaşılır (Lavasanı vd., 2015). TE'nin gerçekleşmesinde etkili olan önemli BE'lere ait kesme kümelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Sistemde gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesi için kesme kümelerinin önem derecesi doğru şekilde hesaplanmalıdır. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda TE'yi meydana getiren kesim kümelerinin önem değerini hesaplamak için çeşitli yöntemlerden faydalanılmıştır (Rajakarunakaran, 2015). Bu çalışmada aşağıda formül no (20) ile gösterilen Vesely Fussel Importance Measure (V-FIM) formülü kullanılmıştır.

$$I_i^{FV}(t) = \frac{Q_i(t)}{Q_S(t)} \quad (20)$$

I : Kesme kümesinin önem derecesi

$Q_i(t)$ = Kesme kümesi i 'nin başarısız olma olasılığı

$Q_S(t)$ = MCs'lerin Tepe olayın gerçekleşme olasılığına etkisi

1.6. Benzer Çalışmalar

Denizcilik literatüründe en çok çalışılan konulardan biri deniz emniyeti olmuştur. Deniz taşımacılığının temel bileşenleri sayılan insan unsuru, yasal çerçeve, teknolojik gelişme, metodolojik yaklaşımların kullanılmasıyla deniz taşımacılığında kabul edilebilir bir emniyet seviyesini sağlamak için bu bileşenlerin tümü birbirleriyle yeterli ve tutarlı olacak şekilde uyum sağlamalıdır. Sürdürülebilir, düşük maliyetli ve çevre dostu ulaşım sistemine ulaşabilmek için, deniz emniyeti ve güvenliğini arttırmak gerekir. Deniz emniyeti ve güvenliği adına yeni kurallar ve kodlar tahsis edilmesine rağmen, deniz taşımacılığı emniyeti istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Ayrıca, deniz kazalarının istatistikleri, incelenen kaza sayısının kabul edilebilir bir seviyenin oldukça üstünde olduğunu göstermektedir. Bu sebeplerle, araştırmacılar deniz emniyeti ve güvenliğini arttırmaya yönelik faktörler üzere birçok çalışma yapmışlardır. Deniz kazaları ile ilgili literatürde bulunan çalışmaların bazılarında bu çalışmada geniş bir şekilde değinilmiştir.

Wang ve arkadaşları (2005), çalışmalarında 1992-1999 yılları arasında balıkçı teknelerinde gerçekleşmiş kazaları incelemişlerdir. Balıkçı gemilerinin emniyetini değerlendirmeyi, balıkçı gemilerinde meydana gelen kazaların nedenlerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Kaza verilerini MAIB veri tabanından elde etmişlerdir. Çalışmada kaza verileri; gemi boyu, kazanın gerçekleştiği yıl, kaza nedenleri ve kaza türlerine göre istatistikî tablo ve grafikler halinde ortaya konmuştur. Sonuç olarak kazalarda insan faktörünün etkisi, kaza nedenleri ve tekne uzunluğu ile kazalar arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Ayrıca, balıkçılık sektöründe emniyetin büyük bir sorun olduğu belirtilmiştir (Wang vd., 2005).

Tzannatos ve Kokotos (2009), deniz emniyeti ile ilgili insan güvenilirliğini ölçmek için ISM öncesi ve sonrasına yayılan bir zaman ölçeği olan 1993-2006 yılları arasında Yunan bayraklı gemileri içeren tüm kazalara atıfta bulunarak insan güvenilirliğini incelemektedir. Araştırma dünya genelinde meydana gelen Yunan bayraklı gemilerin karıştığı resmi kuruluşlar tarafından yayınlanan kaza raporlarını veri seti olarak kullanmıştır. Yapılan araştırmanın sonuçlara göre, ISM Kodunun deniz emniyetini ölçen, geliştiren, yol gösteren ve düzenleyen etkili bir politika olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, ISM Kod uygulamasıyla, insan kaynaklı kazaların dikkate değer bir şekilde azaldığı görülmüştür. Ayrıca, konum bakımından, ISM Kanununun,

kısıtlı ve açık suların her iki seyir bölgesinde de insan kaynaklı kaza kaydını iyileştirdiği görülmüştür (Tzannatos ve Kokotos, 2009).

Knapp ve Franses (2009), başlıca uluslararası sözleşmelerin güvenlik, kirlilik, arama kurtarma ve işle ilgili tedbirler alanındaki etkisini ölçmeye yönelik bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada standart ekonometrik modeller kullanılmıştır. Çalışmada, Lloyd'un Register Fairplay (LRF) ve Lloyd'un 1977-2007 yılları arasında meydana gelmiş ve Denizcilik İstihbarat Birimi'nden (LMIU) elde edilmiş 50.367 farklı veri toplanmış ve kullanılmıştır. Bu analizi yaparak, araştırmacılar uluslararası sözleşmelerin ve ilgili değişikliklerin etkinliğini gelişmiş ekonometrik modeller kullanarak ölçmüşlerdir. Çalışma, kural ve kodların yürürlüğe girmesi ve adapte olunması arasındaki ortalama sürenin 3,1 yıl olarak hesaplandığı karmaşık bir tablo ortaya koymuştur. Çalışma, tatmin edici bulgular elde etmek amacıyla kullandığı verileri yasal düzenleme öncesi ve sonrası olarak nitelendirmiştir (Knapp ve Franses, 2009).

Mullai ve Paulsson (2011), yaptıkları çalışmada deniz kazalarının tanımı ve analizi için kavramsal bir model geliştirmişlerdir. Teorik olarak oluşturulan kaza modellerinden farklı olarak, bu model öncelikle büyük miktarda deneysel verilere dayandırılmıştır (yaklaşık 6.000 deniz kazası). Modeli geliştirirken deniz kazası verisinin analizine hizmet etmeyi amaçlamışlardır. Veri setleri yapısal eşitlik modelleme (SEM) yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçların karar vericiler ve akademisyenler için pratik ve teorik çıkarımları olmuştur. Kaza veya risk analistlerinin daha verimli ve etkili olmalarını kolaylaştırabilir ve aynı zamanda ayrıntılı, geçerli ve güvenilir sonuçlar üretebilmektedir. Son olarak, modelin uygulanması çevre ve mülk korumanın yanı sıra yüksek düzeyde insan güvenliği, zamanın ve kaynakların etkili şekilde kullanılması sağlamaktadır (Mullai ve Paulsson, 2011).

Lou ve arkadaşları (2017), gemi kazaları ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalara rağmen, çok sayıda kazanın tekrarladığını ve bu durumun daha önce araştırılmadığının farkına varmışlardır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için, tekrarlayan gemi kazalarını etkileyen ana faktörleri incelemeyi amaçlamışlardır. Temel modele dayanarak, bu çalışmada tekrarlayan kazaları analiz etmek için genişletilmiş Cox orantılı tehlike (Cox PH) modelini kullanmışlardır. Cox PH modellerini 1996'dan 2015'e kadar olan gemi kazası verilerine uygulamışlar ve gemi tipine, gemi özelliklerine, gemi inşa ülkesine ve önceki kaza türüne bağlı olarak hangi gemilerde tekrarlayan kaza riskinin yüksek olduğunu tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmayla aynı zamanda denizcilik piyasası koşulları ile deniz

kazası davranışları arasındaki ilişkiyi de ortaya çıkarmışlardır. Endüstri seviyesindeki faktör sonuçlarından yüksek barınma fiyatlarının ve zamanlama oranının tekrarlayan kazaların bir göstergesi olabileceği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışma sayesinde gemi sahipleri ve operatörlerin tekrarlayan kaza riskini görebilmeleri hedeflenmiştir. Araştırma sonucunda genel kargo gemileri en yüksek tekrarlayan kaza oranına sahiptir; bunu sırasıyla kuru yük gemileri, konteyner gemileri ve tankerler izlemektedir (Lou vd., 2017).

Keçeci ve Arslan (2017), gemi kazalarına özel, neden analiz tekniği olan SHARE (Gemi Kaza Kök nedeni Değerlendirmesi) yöntemini kullanmışlardır. Denizcilik şirketlerinin ilgili bölümlerinin kazaların nedenlerini öngörmesi ve uygun düzeltici eylemleri uygulaması için küresel ölçekte yardımcı olmak amacıyla geliştirmiştir. Çalışmada önerilen yaklaşımın, gemi kazalarının kök sebep analizinde mevcut standardizasyon eksikliğini giderebilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma, gemi kazalarının kök sebeplerinin incelenmesinde Bulanık SWOT AHP yönteminin uygulandığı öncü bir çalışmadır. Çalışma, mevcut gemi kazası soruşturma raporlarının standart bir formatta oluşturulmasını amaçlamıştır. Ayrıca, denizcilik sektöründeki tüm operasyonlar için standart bir terminoloji geliştirmeyi, tıpkı havacılıktaki gibi denizcilik sektöründe de standardizasyon ile ilgili çalışmalara odaklanması gerektiğini desteklenmiştir (Keçeci ve Arslan, 2017).

Luo ve Shin (2016), yaptıkları çalışmada, 1965'ten 2014'e kadar 50 yılda 125 dergide yayınlanan 572 makaleden oluşan, deniz kazalarındaki araştırmalar üzerine kapsamlı bir literatür taraması yapmışlardır. Son yıllardaki çalışmaların deniz kazaları, kaza riski ve güvenlik konularına odaklandığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın amacı alanın nasıl geliştiğinin anlamak, gelecekteki araştırmacıların bu alandaki boşlukları doldurmasına yardımcı olmaktır. İnsan hatasının deniz taşımacılığı üzerindeki etkisini ve bunun deniz kazalarının olasılığını nasıl etkilediğini analiz etmek, özellikle mevcut piyasa koşullarında gelecek vaat eden bir araştırma alanıdır olmuştur. Bu değişim aynı zamanda birçok farklı kaynaktan gelen verilerin kullanımını ve daha gelişmiş modellerin ve bilgisayar teknolojilerinin kullanılmasını gerektirmiştir. Çalışma, deniz kazaları araştırmalarında en önemli faktörlerin risk analizi, emniyet değerlendirme ve kaza verileri analizlerinin olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonucunda denizcilik sektöründe, gemilerde çalışacak kalifiye personeli buldurmanın zor olduğu tespit edilmiştir. İncelemeler insan faktörlerini deniz kazalarının önemli bir nedeni olarak belirtmişlerdir (Luo ve Shin, 2016).

Bu çalışmada incelenen literatür taramasının ikinci bölümü insan faktörüyle ilgilenen araştırmalardır. Denizcilik endüstrisi bir insan sistemi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, çalışmalar %80 veya daha fazla deniz kazasının denizcilik endüstrisindeki insan unsurlarından kaynaklandığını göstermektedir. İnsan unsuruyla ilgili yakın zamanda yayınlanmış olan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur:

Schröder-Hinrichs ve arkadaşları (2011), gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın/patlama kazalarını HFACS metoduyla incelemiştir. Çalışmada 41 tane kazaya ait rapor incelenmiş ve toplam 368 adet etken faktör tespit edilmiştir. Çalışmanın amacı kurumsal etkilerin gemilerde meydana gelen makine yangınlarındaki etkisini ortaya çıkarmak ve makine yangınlarında insan faktörünün analiz edilebilmesi için özelleşmiş bir HFACS geliştirmektir. Çalışma sonucunda HFACS ana yapısı değiştirilmeden alt nedenler tespit edilerek HFACS-MSS çerçevesi ortaya konmuştur. Kurumsal faktörlerden daha fazla, emniyetsiz eylemi hazırlayan ön koşullar bileşeni altındaki teknolojik çevre faktörlerinin %41 ile makine yangını ve patlama kazalarında en önemli etken olduğu belirtilmiştir (Schröder-Hinrichs vd., 2011).

Chauvin ve arkadaşları (2013), MAIB ve TSB veri tabanlarından elde ettikleri çatışma kaza raporlarını HFACS metodu ve istatistiksel metotlar kullanarak incelemiştir. Kaza raporlarında belirtilen faktörleri sınıflandırmak ve analiz etmek için 1998 ve 2012 arasında gerçekleşen 27 çarpışmada yer alan 39 gemi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, HFACS ana yapısına bağlı kalarak, çatışma kazaları için HFACS-Coll yapısını oluşturulmuştur. HFACS-Coll metodunda dış faktörler kategorisi tanımlanmış ve bu kategori yasal düzenlemeler ve diğer faktörler olmak üzere iki alt bölüme ayrılmıştır. Yaptıkları çalışmalar ve kaza analizleri sonucunda çatışma kazalarında en önemli faktörün karar hataları olduğunu belirtmişlerdir. Emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullara ait en önemli faktörlerin kısıtlı görüş ve yanlış ekipman kullanımı, dikkat dağınıklığı, durumsal farkındalık kaybı, gemi içi iletişim eksikliği ve köprüüstü kaynak yönetimi eksikliği (personel faktörleri) olduğunu tespit etmişlerdir (Chauvin vd., 2013).

Wang ve arkadaşları (2013), HFACS ve Bayesian Ağı metotlarını birlikte kullanarak analitik bir kaza inceleme modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada kazaları önlemek için düşük maliyetli emniyet tedbirlerinin bir metot ile belirlenmesi ve bu tedbirlerin fayda-maliyet etkinliğine göre sırlanmasını amaçlamışlardır. Geliştirilen bu metotla örnek bir çatışma kazası analiz edilmiş, tespit edilen düşük maliyetli emniyet tedbirleri En iyi Uyum ve

Kanıtı Dayalı Muhakeme yöntemleri ile değerlendirilerek en etkin tedbirler belirlenmiştir. (Wang vd., 2013).

Soner ve arkadaşları (2015), kurumsal emniyet engellerini belirlemek için operasyonel verilerin analizini amaçlamışlardır. Gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın ve patlama kazalarına yol açan eksikliklerin belirlenmesi ve önlenmesine yönelik bir model oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu amaca yönelik olarak HFACS ve Bulanık Bilişsel Eşleme (FCM) metotları birleştirilerek HFACS-FCM modeli geliştirmişlerdir. Sonuç olarak gemilerdeki yangın kazaların gerçekleşmesinde etkili olan eksikliklerin temel nedenlerinin emniyetsiz eylemler, emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar, emniyetsiz denetim ve kurumsal etkiler gibi bütün kategorilerdeki kök ve alt nedenlerden kaynaklı olarak ortaya çıkabileceği belirtilmiştir (Soner vd., 2015).

Uğurlu ve arkadaşları (2018), çalışmalarında 1991-2015 yılları arasında yolcu gemilerini içeren 70 gemi çarpma ve temas kazasını incelemişlerdir. Literatürdeki diğer çalışmaların aksine, bu araştırma, yolcu gemisi kazalarında insan faktörünün analizini kolaylaştırmak için özelleştirilmiş bir İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS-PV) önermektedir. HFACS ana yapısına bağlı kalarak, ek bir operasyonel durum seviye tanımlanmıştır. İhlaller çerçevesi, rutin ve istisnai ihlaller kategorisi yerine kural ihlali, prosedür ihlali ve suistimal olarak üç alt kategoriye ayrılmıştır. Otoritenin kötüye kullanımı, bilerek ve isteyerek yapılan kasıtlı bir ihlaldir, bu nedenle otoritenin kötüye kullanılması ayrı olarak ele alınmıştır. Ayrıca HFACS'ın ikinci seviyesi olan emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşulları denizcilik sektörüne uyumu için kategorilerini uygun şekilde düzenlemişlerdir (Uğurlu vd., 2018).

Theophilus ve arkadaşları (2017), yaptıkları çalışmada petrol ve gaz endüstrisi kazalarını HFACS metodu ile incelemişlerdir. HFACS'ın ana yapısı üzerinde değişiklik yapılarak petrol ve gaz endüstrisi kazaları HFACS modeli (HFACS-OGI) ortaya konmuştur. Çalışmada HFACS-OGI metodu ile 1998-2012 yılları arasında meydana gelen 11 adet kaza raporunun analizi yapılmıştır. Bu analiz raporları ABD Kimyasal Güvenlik Kurulundan (ABD CSB) alınmıştır. İncelenen 11 kazadaki farklı nedensel faktörlerin analizi HFACS ana yapısı kullanılarak yapılmış ve 54 adet uygunsuzluk tanımlanmıştır. Aynı kazaların analizi geliştirilen HFACS-OGI yapısı ile yapıldığında toplam 80 adet uygunsuzluk belirlenmiştir. Uluslararası standartlar ve ulusal düzenleyici çerçevenin, petrol ve gaz endüstrisindeki kazalara sebep olduğunu tespit etmişlerdir. HFACS ile

sektöre özgü tanımlanması zor olan kategorileri, HFACS-OGI kullanılarak başarıyla tanımlamışlardır (Theophilus vd., 2017).

Aliabadi ve arkadaşları (2018), çalışmalarında madencilik kazalarına dahil olan insan ve örgütsel faktörleri analiz etmeyi ve bu faktörler arasındaki ilişkileri belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaca yönelik olarak HFACS ve Bayesian ağı (BN) birleştirilmiştir. 295 adet İran madeni kazası vakasından elde edilen veriler HFACS metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Daha sonra, beklenti-maksimizasyon algoritması kullanılarak, katkıda bulunan faktörlerin önceden olasılığı hesaplanmıştır. Çalışmada yapılan analizler sonucu; beceri temelli hataların, rutin ihlallerin, çevresel faktörlerin ve uygunsuz planlanan operasyonların kazalarda daha yüksek rol oynadığı tespit edilmiştir. Sonuçta maden kazalarını azaltmak için uygun müdahale stratejilerinin benimsenmesi gerektiğini ortaya koymuşlar (Aliabadi vd., 2018).

Zhang ve arkadaşları (2019), çalışmalarında buzkıran yardımı sırasında meydana gelen çatışma kazalarını HFACS metodu ile incelemişlerdir. HFACS'ın ana yapısı üzerinde birtakım değişiklikler yaparak HFACS-SIBCI (HFACS-Ship-Icebreaker Collision in Ice-covered waters) modelini geliştirmişlerdir. Kaza raporlarının ve HFACS-SIBCI modeline dayanan uzman kararlarının istatistiksel analizi için bir Hata Ağacı Analizi modeli kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle gemi çarpışma risk faktörleri, HFACS-SIBCI modeline dayanarak; emniyetsiz eylemler için ön koşullar, emniyetsiz denetim, dış faktörler, kurumsal faktörler ve emniyetsiz eylemler olmak üzere beş seviyeye ayrılmıştır. Geliştirilen HFACS-SIBCI modeliyle incelenen 17 çatışma kazası sonucunda elde edilen verilerin modelle uyumlu olduğu görülmüştür (Zhang vd. 2019).

Uğurlu ve arkadaşları (2015), 1998-2010 yılları arasında petrol tankerlerinde meydana gelen karaya oturma ve çatışma kazalarını FTA metodunu kullanarak incelemişlerdir. Kaza verileri GISIS veri tabanından elde edilmiştir. Çalışmada 46'si çatışma, 26'si karaya oturma kazası olmak üzere toplam 72 adet kaza raporu incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; çatışma ve karaya oturma kazalarının nedenleri, kazaları meydana getiren risk faktörleri ve bu kazalarda insan hatasının etkisi ortaya konmuş ve kazaları önleyici tavsiyelerde bulunmuştur (Uğurlu vd., 2015).

Aslan ve arkadaşları (2018), yaptıkları çalışmada tanker terminallerinde yükleme ve tahliye operasyonları sırasında gemilerde meydana gelen kazaları insan faktörü ve emniyet yönünden incelemişlerdir. Çalışma kapsamında GISIS, MAIB ve ATSB gibi kuruluşlar tarafından 2000-2014 yılları arasında yayınlanmış kaza raporları kullanılmıştır. Uygun

veriler içeren toplam 10 gemi kazası, sonuçlarına göre sınıflandırılmış ve irdelenmiştir. Kaza nedenlerinin oluşturulmasında FTA yöntemi kullanılmış ve sonuçların Monte Carlo Simülasyonu ile sağlaması yapılmıştır. Sonuç olarak prosedüre uymama ve bilgi eksikliği en önemli uygunsuzluklar olarak bulunmuştur (Aslan vd., 2018).

Lavasani ve arkadaşları (2011), Olasılıksal Risk Değerlendirmesi (PRA) yöntemi olarak FTA'yı, istenmeyen bir olaya yol açan temel nedenleri tanımlamak, bu BE'lerin TE'ye neden olmadaki mantıksal ilişkisini göstermek ve son olarak da görülme olasılığını hesaplamak için kullanmışlardır. Nicel bir FTA için, BE'lerin arıza verilerinin yanı sıra bir hata ağacı gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca, BE'lerin başarısızlık verilerindeki yanlışlık nedeniyle, genel sonuçların sorgulanabilir olduğunu ve bu gibi durumlardan kaçınmak için, FTA tekniği ile bulanık bir yaklaşımın kullanılabilir olduğunu ifade etmiştir. Bu, verilerin özneliğinden kaynaklanan belirsizliği ve yanlışlığı azaltmaktadır. Geleneksel FTA yönteminin, sistemin olası başarısızlığını ölçmek için bütün BE'lerin başarısızlığının sağlam bir veri tabanına ihtiyacı vardır; buna karşın, açık deniz boru hattı endüstrisinde böyle bir veri tabanı bulunmamakta; bu nedenle, bu sorunla başa çıkmak için bulanık FTA yaklaşımı önerilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda bir olayın incelemesinde duyarlılık analizinin kullanımını göstermektedir (Lavasani vd., 2011).

Chelihan ve Bhattacharyya (2018), çalışmalarında FTA'yı kullanarak bir denizaltı üretim sisteminde petrol ve gaz sızıntısı olasılığını gösteren bir analiz yöntemi sunmaktadır. Sızıntıların başlatılabileceği dört ana alan göz önüne alınarak bir hata ağacı oluşturulmuştur. Bunlar: gaz ve petrol kuyuları, boru hatları, ana tesisler ve üçüncü taraf hasarları olarak sınıflandırılmıştır. Arıza verileri belirsiz olduğu için, bu hata ağacı analizi olarak adlandırılan ve ara maddenin başarısızlık olasılıklarını hesaplamak için uzman görüşlerini ve bulanık küme teorilerini kullanan bir yöntem uygulanmıştır. MCs'ler ve TE'nin BE'lere bağımlılığını belirlemeye yardımcı olan ve bu nedenle de denizaltı üretim sisteminde sızıntıya neden olabilecek en zayıf bağlantıları belirleyebilecek bir dizi önemli önlem alınmıştır (Chelihan ve Bhattacharyya, 2018).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada; 2000-2017 yılları arasında 500 grt ve üzeri (SOLAS kriterlerine tabi) gemilerin makine dairesinde meydana gelen yangın/patlama kazaları incelenmiştir. Gemilerde meydana gelen yangın/patlama kazaları birçok kaza araştırmacısının dikkatini çekmiştir. Bu alanda (yangın/patlama kazaları) yapılan çalışmalar incelendiğinde; gemi makine dairesinde gerçekleşen yangın kazalarıyla ilgili kapsamlı değerlendirmeye sahip kaza araştırma sayısının yetersiz olduğu görülmüştür (Zong, vd., 2017). Bu çalışmada gemi makine dairesinde yangın kazalarının gerçekleşme olasılığını ve sonucunu birleştiren oldukça detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Hem nicel hem de nitel metotlar kullanılarak, kazalarda etken olan sebeplerin ve bunların görülme olasılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma makine dairelerinde meydana gelebilecek yangın/patlama kazalarını önlenmek için alınması gereken tedbirleri ortaya koymaktadır. Bu çalışma gemi makine dairesinde gerçekleşen yangın/patlama kazaları için HFACS ve FFTA'dan oluşan bir metot önermektedir.

Kazaların meydana gelmesinde insan faktörünün etkisinin araştırılması ve analizi oldukça zor bir işdir. Araştırmanın ve analizin tamamlanması bazen uzun bir süreç içerebilir. Çünkü insan davranışları kolaylıkla tahmin edilebilir ve yorumlanabilir özellikte değildir. Yangın kazalarının araştırılması karmaşıktır ve diğer soruşturma biçimleri kadar net değildir (Beland, 1984; Hine, 2004). Gemi yangınları özellikle de makine dairesi yangınları karmaşık ve kompleks bir yapıya sahiptir (Zong vd., 2017). Yangınlar sonucunda makine dairesinin kullanılamaz hale gelmesi, gemi kaybı ve hatta can kaybı yaşanabilmektedir. Çoğu büyük makine dairesi yangınları sonucunda delillerin yangın ile birlikte kaybolması riski vardır. HFCAS insan hatasının kazalardaki etkisini seviye seviye analizini mümkün kılan bir metottur (Chauvin vd., 2013; Aliabadi vd., 2018). Bir kazanın oluşumundaki görünen nedenleri yansıtmamasının yanı sıra bu nedenlerin altında yatan gizli kusurları da açığa çıkartır (Macrae, 2009; Uğurlu vd., 2018). Denizcilik sektörü de dahil madencilik (Patterson ve Shappell, 2010), havacılık (Shappell ve Wiegmann, 2004; Olsen, 2011; Harris ve Li, 2011), demiryolu taşımacılığı (Baysari vd., 2008; Reinach ve Viale,

2006; Zhan vd., 2017) ve tıbbi bilimler (Cintron, 2015) gibi bir çok güvenilirliğini kanıtlamıştır. Bu nedenle karmaşık ve kompleks bir yapıya sahip gemi makine dairesi yangınlarının analizinde HFACS metodunun kullanımının uygun olacağı düşünülmüştür. Fakat HFACS kazaların nicel analizinde yetersiz kalır (Jiang ve Han, 2018). Bu çalışmada nicel analiz için FFTA metodu kullanılmıştır. FFTA metodu kusurların kazaların oluşumundaki etkisini hem nicel hem de nitel olarak değerlendirmeyi mümkün kılar (Kristiansen, 2005; Wang vd., 2013). Bu çalışmada nitel yaklaşım ile emniyetsiz eylemler sonucu ortaya çıkan ve gemi makine dairesi yangınlarına sebep olan nedenler (yanıcı madde kaynağı ve/veya yakıcı madde kaynağı) arasındaki mantıksal ilişki kurulmuştur. Nicel yaklaşım ile ise kaza oluşum kombinasyonları incelenmiş ve bu mantıksal ilişkinin sayısal analizi yapılmıştır. Bu çalışma 5 aşamadan oluşmaktadır. Aşağıda çalışmanın aşamalarına yer verilmiştir.

1. Aşama: Kaza verilerin toplanması ve veri seti tesisi

Bu çalışmada; MAIB, ATSB, MSIU, PMA, BMA başta olmak üzere toplam 20 adet kaza kuruluşunun veri tabanı taranmış ve çalışmanın temelini oluşturan makine dairesi yangınlarıyla ilişkili toplam 49 adet kaza raporuna ulaşılmıştır. İncelenen kazaların 7 adedi çok ciddi kaza ve 42 adedi ciddi kaza boyutunda kazalardır. Bu kazalar neticesinde can kaybı, yaralanma, geminin seyrine engel olacak yapısal hasar ya da gemi kaybı yaşanmıştır. Oluşturulan bu kaza veri tabanı; gemi adı, gemi bayrağı, gemi yaşı, kaza tarihi, kaza saati gibi kazanın demografik özelliklerinin yanı sıra kaza nedenlerini de içerir. Kaza raporları metinsel formattadır ve metinsel formattaki ham verileri işlemeyen analiz etmek zordur. Bu amaçla çalışmada Uğurlu ve arkadaşlarının (2013, 2018), çalışmalarında olduğu gibi kaza verilerinin analizini mümkün kılan Microsoft Excel tabanlı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Yeni veri tabanı kaza verilerinin sistematik olarak analizini mümkün kılmıştır.

2. Aşama: Kaza nedenlerinin belirlenmesi

Reason İsviçre Peyniri modelinde kazaları; sistemi oluşturan bileşenler arasındaki uyumsuzluklar sonucu ortaya çıkan, istenmeyen sonuçlara neden olan olaylar olarak ifade edilmektedir (Reason, 1990; Baber, 2007). Bu modelde kazayı oluşturan faktörler dört ayrı seviyede tanımlanmış ve bu seviyelerde gizli kusurlar ve aktif hatalar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmıştır. Gizli kusurların tanımlanması ve içeriği ilk üç seviyede yapılmış, son seviyede ise aktif hatalar ile ilgili tanımlama yapılmıştır. Bu modele göre aktif kusurlar kazanın görünen yüzü, gizli kusurlar ise aktif kusurların ortaya çıkmasını sağlayan ve ilk

başta görülmeyen olaylar olarak ifade edilmiştir (Reason, 1990). Çalışmanın bu aşamasında oluşturulan veri tabanındaki kaza verilerinden faydalanılarak gemilerin makine dairelerinde meydana gelen yangın/patlama kazalarının aktif nedenleri ve gizli kusurları ortaya konmuş ve sonraki aşama olan HFACS çatısı altında işlemek için hazır olması amaçlanmıştır.

3. Aşama: Kaza nedenlerinin HFACS ana çatısı altında sınıflandırılması

Bu aşamada kazayı meydana getiren gizli ve aktif kusurların HFACS yapısı altında sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma sırasıyla kurumsal etkiler, emniyetsiz denetim, emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar ve emniyetsiz eylemlerden oluşmaktadır. HFACS metodu (Uğurlu vd., 2018), makine dairesi yangınlarına sebep olan insan hatası kaynaklı etmenlerin oluşumunu hiyerarşik yapıda özetler. Ayrıca çalışmada bu etmenlerin kazalarda görülme sıklığına da (frekans analizi) yer verilmiştir. HFACS yapısında sınıflandırma tamamlandıktan sonra çalışmada oluşturulan veri tabanından her emniyetsiz eylemin doğurduğu sonuçlar ve bulunduğu ortam belirlenmiş ve hata ağacı uygulamalarına geçilmiştir.

4. Aşama: FFTA uygulamaları

FTA, TE'ye sebep olan uygunsuzlukların (BE) ve kaza oluşum kombinasyonlarının (MCs) TE'yi nasıl oluşturduğunu ve ne ölçüde olma olasılığını etkilediğini tespit etmek için kullanılan mantık temelli bir metottur (Ringdahl, 2005; Lavasani vd., 2011). Geleneksel FTA'da, BE'lerin olasılıkları kesin değerlerdir. Bu yapıda BE'lerin hata olasılıklarının kesin tahmini, yetersiz verilerden dolayı çoğu zaman pratik değildir ve belirsizlikler içerir (Liang ve Wang, 1993). Bu nedenle de sonuçlar yanıltıcı olabilir. Böyle belirsizlik içeren durumlarda bulanık mantık yaklaşımı kullanılır. Bulanık mantık, gerçek dünya ile insan düşüncesinin yanlışlığını ve belirsizliğini modellemek için kullanılan matematiksel bir araçtır (Misra ve Weber, 1990; Onisawa, 1990; Suresh vd., 1996; Cheliyan ve Bhattacharyya, 2018). Bulanık mantık FTA ile verilerin belirsizliği ile başa çıkmak ve BE'lerin hata olasılıklarını etkin bir şekilde ortaya koymak mümkündür (Rajakarunakaran vd., 2015). Bu nedenle, bu çalışmada Fuzzy FTA (FFTA) yaklaşımı kullanılmıştır.

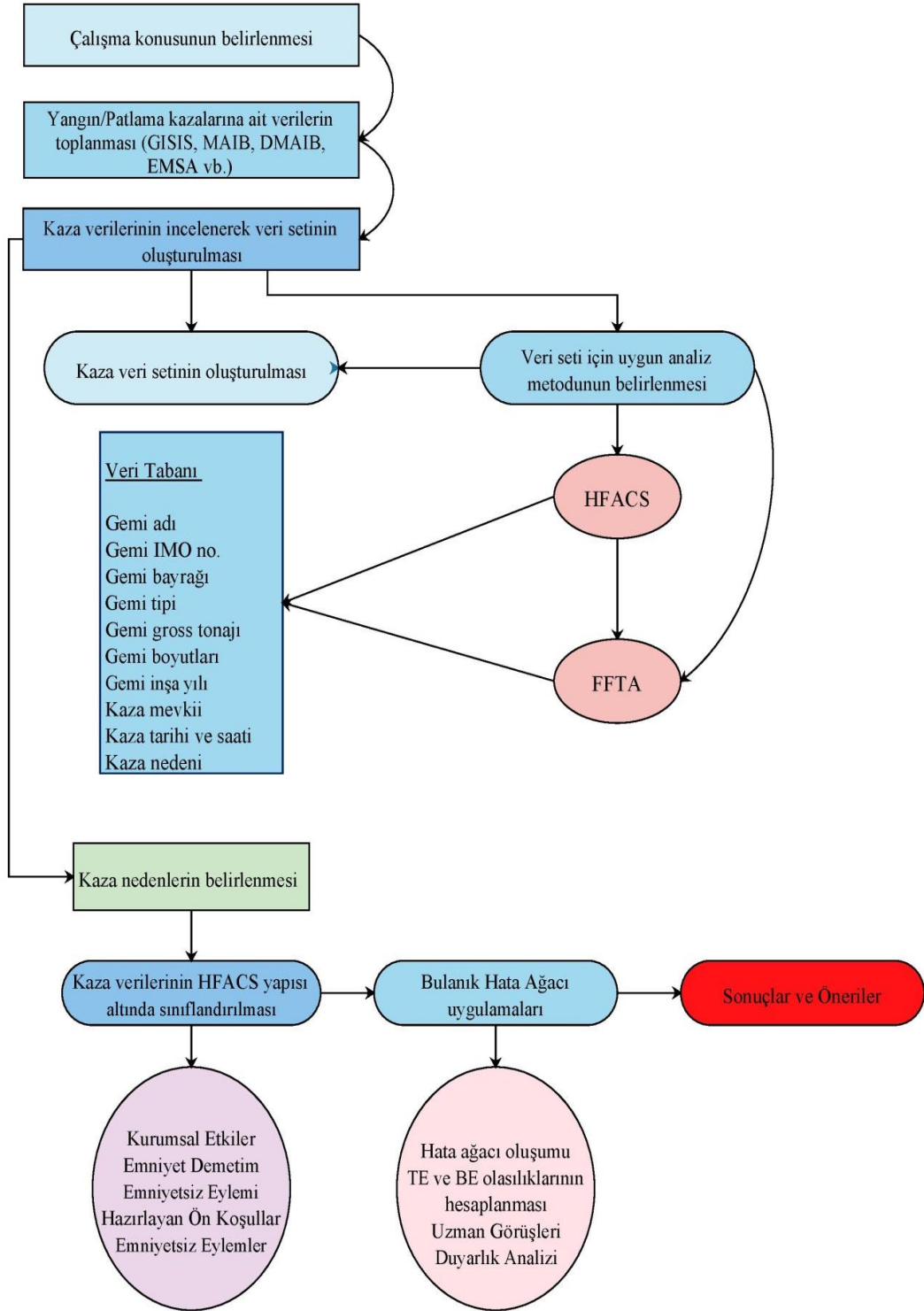
FFTA'da TE değerlerinin doğruluğunu artırmak için uzman görüş yaklaşımları kullanılabilir. Uzman görüşlerinden elde edilen bulanık sayılar, BE'lerin olasılık değerlerini oluşturur (Korta vd., 1996; Harrald vd., 1998; Rausand ve Hoyland, 2004). Uzman, sisteme aşina olan, sistemin çalışma prensibini bilen ve bu konuda gerekli eğitim

ve alt yapıya sahip olan kişidir (Wang vd., 2013). Bu çalışmadaki uzmanlar, amaçlanan çalışma ile alakalı kişilerden seçilmiştir. Uzmanlar farklı çalışma alanlarına, geçmişlerine ve deneyimlere sahip olabilir (Cheliyan ve Bhattacharyya, 2018). Bu nedenle uzmanların görüşlerini, sistem (makine dairesi ve gemi yangınları) hakkındaki deneyimlerine ve bilgilerine dayanarak değerlendirmek çok doğru olacaktır. Bu çalışmada uzman görüşleri profesyonel pozisyon, yeterlilik ve deniz tecrübesine göre ağırlıklandırılmıştır.

Bu çalışmanın TE'si makine dairesi yangınlarıdır. Yangın olayının meydana gelebilmesi için yanıcı madde kaynağı, yakıcı madde kaynağı ve yeterli oranda oksijenin bir arada bulunması gerekir. Oluşturulmuş olan hata ağacında oksijen gemi makine dairelerinde her ortamda bulunabileceğinden ve tüm kombinasyonların içerisinde yer alacağından göz ardı edilmiştir. FFTA, nitel ve nicel yaklaşım olmak üzere iki aşama içerir. Nitel yaklaşımda makine dairesi yangınlarının nedenleri sınıflandırılmış, olasılık değerleri belirlenmiş (uzman görüşleri eşliğinde bulanık mantık uygulamaları) ve nedenler arasında mantıksal ilişki (hata ağacı) kurulmuştur. Nicel yaklaşımda ise MCs'ler (kaza oluşum kombinasyonları) belirlenmiş ve makine dairesi yangınlarına sebep olan kombinasyonların görülme olasılıkları değerlendirilmiştir.

5. Aşama: Sonuç ve öneriler

Gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın kazaları için olası kaza senaryoları ve kaza olasılıklarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer gemi kazaları ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Çalışmanın sonuçları değerlendirilerek makine dairesinde meydana gelen yangın kazalarının önlenmesi için odaklanılması gereken kaza nedenleri ve önlemeye yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Çalışma aşamalarının sistematik şeması

2.2. Test Kazası İncelemesi

Test kaza inceleme aşaması için verileri PMA veri tabanından elde edilen Queen Of Surrey gemisinin makine dairesinde çıkan yangın kazası seçilmiştir (Ek Tablo 1). 12 Mayıs 2003 sabahı, Horseshoe Körfezi açıklarında 318 yolcu ve 137 araç ile seyir halinde olan Ro/Ro-Yolcu gemisinin makine dairesinde 2 numaralı ana makinesinde bir yangın kazası meydana gelmiştir. Kaza sonrası Makine dairesi boşaltılmıştır ve sabit karbondioksit (CO₂) sistemi ile yangına müdahale edilmiş ve müdahale başarılı olmuştur. Gemi daha sonra Langdale feribot terminaline çekilmiştir. Kaza sakin hava koşullarında ve sabah saatlerinde gerçekleşmiştir. Kaza sonucunda can kaybı meydana gelmemiştir. Kaza oluşumunda HFASC ana çatısına uygun toplam 11 faktörün rol oynadığı tespit edilmiştir. Kazanın meydana gelmesinde etkin faktörler aşağıda özetlenmiştir. Ayrıca Şekil 12'de kaza nedenlerinin HFACS çatısı altında genel dağılımına yer verilmiştir.

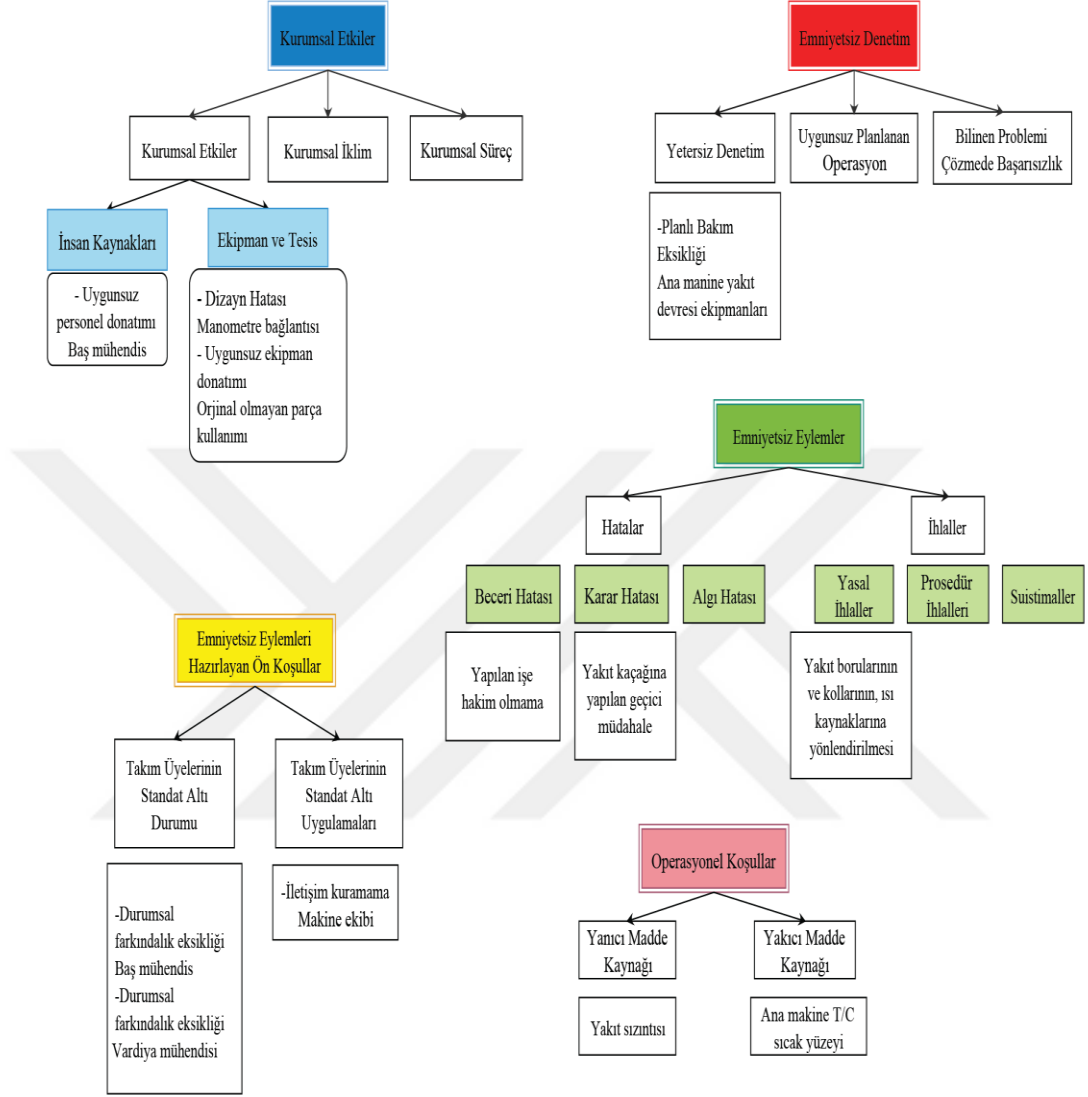
Kurumsal Etkiler: Uygunsuz personel donatımı/Baş Mühendis, Diyazn hatası/ Manometre bağlantısının doğrudan T/C'nin üzerine doğru yapılması, Uygunsuz ekipman donatımı/ orijinal olmayan parça kullanımı,

Emniyetsiz Denetim: Yetersiz denetim/planlı bakım eksikliği ana makine yakıt devresi ekipmanları,

Emniyetsiz Eylemi Hazırlayan Ön Koşullar: Durumsal farkındalık eksikliği/Baş mühendis, Durumsal farkındalık eksikliği/ Vardiya Mühendisi, İletişim yoksunluğu/ Makine ekibi,

Emniyetsiz Eylem: Beceri hatası/Yapılan işe hakim olmama, karar hatası/yakıt sızıntısına yapılan geçici müdahale, Kural ihlali/Yakıt borularının ve kollarının, sızıntıların ısı kaynaklarına yönlendirilmesi (Canada Shipping Act, Marine Machinery Regulations, Schedule XII, item 21).

Operasyonel Koşullar: Yakıt sızıntısı, Ana makine turbo şarjerin (T/C) sıcak yüzeyi.



Şekil 12. Test kazası HFACS yapısı oluşumu

Test kazası incelemesine ait kazaya etki eden faktörler HFACS yapısı altında sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada incelenmiş olan her kaza oluşumu için örnek kaza incelemesinde belirtilen adımlar izlenmiş ve HFACS ana yapısı ve FFTA yöntemi uygulanmıştır.

Yangın/patlama kazalarının meydana gelmesinde etken olan uygunsuzlukların HFACS ana yapısı seviyelerine göre frekans ve yüzdeler dağılım değerleri hesaplanmış ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Yangın/patlama kazalarında HFACS faktörlerin frekansları ve dağılımları

HFACS Seviyeleri				Yangın		
				f	%	
1. KURUMSAL ETKİLER				173	42,40	
a- Kaynak Yönetimi	i- İnsan Kaynakları	Eğitim ve Aşinalık	Gemiye	27	6,62	
		Adam Donatımı		43	10,54	
	ii- Ekipman ve Tesis Kaynağı	Yetersiz Ekipman Donatımı		1	0,25	
		Uygunsuz Ekipman Donatımı		49	12,01	
		Ergonomik Dizayn Kusuru		12	2,94	
Kaynak Yönetimi Toplam				132	32,35	
b- Kurumsal Ortam	i- Kurumsal Yapı	İletişim ve Koordinasyon		0	0,00	
		Kumanda Zinciri		0	0,00	
		Yetki Dağılımı		0	0,00	
	ii- Politikalar	Terfi		0	0,00	
		Uyuşturucu ve Alkol		0	0,00	
iii- Kurum Kültürü				0	0,00	
Kurumsal Ortam Toplam				0	0,00	
a- Kurumsal Süreç	i- Operasyon Yönetimi			1	0,25	
	ii- Yasal Eksiklikler	Prosedür Kaynaklı		15	3,68	
		Mevzuat Kaynaklı		3	0,74	
	iii- Gözden Geçirme Mekanizması	Risk Analizi		21	5,15	
		Emniyet Değerlendirmesi		1	0,25	
Kurumsal Süreç Toplam				41	10,05	
2. EMNİYETSİZ DENETİM				70	17,16	
a- Yetersiz Denetim				45	11,03	
b- Uygunsuz Olarak Planlanmış Operasyonlar				24	5,88	
c- Problemi Çözmede Başarısızlık				1	0,25	
3. EMNİYETSİZ EYLEMİ HAZIRLAYAN ÖN KOŞULLAR				90	22,06	
a- Takım Üyelerinin Standart Altı Durumu	i- Olumsuz Zihinsel Durum				51	12,5
	ii- Olumsuz Fiziksel Durum				2	0,49
	iii- Fiziksel ve Zihinsel Sınırlamalar				2	0,49
Takım Üyelerinin Standart Altı Durumu Toplam				55	13,48	
b- Takım Üyelerinin Standart Altı Uygulamaları	i- Göreve Hazır Olma				0	0,00
	ii- Köprüüstü Takım Yönetimi	Uygunsuz Yönetim Faaliyetleri		23	5,64	
		İletişim yoksunluğu		12	2,94	
Takım Üyelerinin Standart altı Uygulamaları Toplamı				35	8,58	
4. EMNİYETSİZ EYLEMLER				75	18,38	
a- Hatalar	i- Beceri				32	7,84
	ii- Karar				12	2,94
	iii- Algı				4	0,98
Hatalar Toplam				48	11,76	
b- İhlaller	i- Yasal Düzenleme (Regülasyon)				11	2,67
	ii- Prosedür				16	3,92
	iii- Suistimaller				0	0,00
İhlaller Toplam				27	6,62	

2.3. HFACS Çatısına Bağlı Hata Ağacı ve Kök Olayların Belirlenmesi

Bu çalışmada oluşturulan hata ağacının amacı gemi makine dairelerinde meydana gelen yangınların oluşumunu özetlemek ve kaza oluşumunda rol oynayan faktörlerin önem

derecesini ortaya koymaktır. Bu çalışmada TE'nin gerçekleşmesinde etkili olan 27 adet BE belirlenmiştir. Bu BE'ler, onlara ait tanımlamalar ve FTA'da bunların arasındaki ilişkiler HFACS yapısı, kaza raporları, uzman görüşleri ve literatürde geçen benzer çalışmalardan faydalanılarak oluşturulmuştur (Nikolaou ve Spyrou, 2010; Vassalos vd., 2010; Schröder-Hinrichs vd., 2011; Ventikos, 2013; Baalisampang vd., 2018) (Tablo 7). Aşağıda temel olaylara ait tanımlamalara yer verilmiştir.

Tablo 7. Makine dairesi yangınında etken olan kök sebepler

Kök sebepler				Frekans	Temel olayın kısaltması	
Yanıcı Madde Kaynağı	Sıvı Madde Kaynağı	Sızıntı ve Kaçaklar	Yakıt Kaçağı	31	BE1	
			Yağ Sızıntısı	6	BE2	
		Atık Madde	Yağlı Yüzeyle	1	BE3	
			Yağ Yakıt Kalıntısı	Sintine	2	BE4
				Slaç	1	BE5
	Katı Madde Kaynağı	Isıya Dayanıksız Malzeme		3	BE6	
		Çöpler ve Atıklar		1	BE7	
		Kurum		1	BE8	
	Gaz Madde Kaynağı	Yakıt Buharı		2	BE9	
		Gaz Buharı		1	BE10	
Yakıcı Madde Kaynağı	Yakıcı Sıcak Yüzey	Ana makine	Ana makine sıcak yüzey	8	BE11	
			Ana makine egzoz sistemi	12	BE12	
			Ana makine turbo şarjer	6	BE13	
			Ana makine sıcak yakıt devresi	1	BE14	
Yakıcı Madde Kaynağı	Yardımcı Makine	Yardımcı Makine	Jeneratör	4	BE15	
			Jeneratör egzoz sistemi	2	BE16	
			Jeneratör T/C	2	BE17	
			Kazan	3	BE18	
			Thermal Oil	2	BE19	
			Kompresör	1	BE20	
	Kıvılcım ve Ateş Kaynağı	Uygunsuz Ekipman	Uygunsuz Ekipman	Spark	1	BE21
				Elektrik Arkı	1	BE22
				Kendiliğinden Tutuşma	1	BE23
		Uygunsuz İş	Uygunsuz İş	Sıcak Çalışma	5	BE24
				Statik Elektrik		BE25
		Uygunsuz Personel	Uygunsuz Personel	Sigara	1	BE26
				Çıplak Ateş		BE27

Yakıt Kaçağı (BE1): Ana makine veya jeneratörlere bağlı olan yakıt devreleri, yakıt pompası, silindirler ve benzeri ekipmanlarda meydana gelen arızalar nedeniyle yakıtın

dışarı sızması durumudur. Yakıt kaçağı çoğunlukla hasarlı esnek hortumlar, yıpranmış kaplinler, uygunsuz filtreler, çatlak devreler, uygun sıkılmamış cıvatalar, gevşek bırakılmış saplamalar, uygunsuz parçaların kullanımı (oring, boru bağlantısı, dirsek, diyafram etc) sonucu meydana gelir. Bakım ve kontrol eksikliğiyle, bu parçalar yük altında yorulur, esner ve kırılarak yakıt kaçağına neden olabilir.

Yağ Sızıntısı (BE2): Yağlama pompası, termal yağ devresi, yatak yağlama yağları ve benzeri ekipmanlarda meydana gelen yağ kaçağı olarak adlandırılır. Yakıt kaçağının ortaya çıkmasında etkili olan benzer uygunsuzlukların gerçekleşmesiyle meydana gelirler.

Yağlı Yüzeyler (BE3): Makine dairesinde ana makine, jeneratör ve kazan mahalleri gibi bölümlerde; yapılan bakım, kontrol ya da çalışma sonrasında gerekli kontrol ve temizliğin yapılmaması sonucu yağlı yüzeyler oluşur. Ayrıca ufak boyuttaki yağ/yakıt kaçağı da bölmenin ya da ekipmanların yağ ve yakıtla kirlenmesine sebebiyet verir.

Yağlı Sintine (BE4): Geminin makine, yardımcı makine, tanklar, koferdamlar ve kazanlarının bulunduğu kısmın zemininde biriken yağ, yakıt ya da sızıntıları ifade eder. Özellikle makine dairesinde bulunan sintine kuyularında gerekli kontrol ve temizliğin yapılmaması durumunda yanıcı ortamı oluşturacak yağ birikintisi meydana gelir.

Slaç (BE5): Slaç tankına gönderilen yanmış yağ-yakıt atıkları ve/veya geminin yakıt tanklarının dibinde katılmış olan yakıt çamuru slaç olarak adlandırılır.

Isıya Dayanıksız Malzeme (BE6): Makine dairesinde ya da ekipmanlarında kullanılan yüksek sıcaklıklara ve kimyasallara dayanıksız malzemeler olarak adlandırılır. Yakıt devrelerinde kullanılan conta veya o-ring gemi makine dairesi yangınlarında en sık görülen ısıya dayanıksız malzemelerdir.

Çöpler ve Atıklar (BE7): Geminin genel faaliyetleri sonucu oluşan ve MARPOL 73/78 Ek-V kapsamına giren evsel ve operasyonel nitelikli katı atıklardır. Plastik, kağıt ürünleri, paçavra, yağlı üstübu, operasyonel atıklar yüksek yangın riskine sahip atıklardır.

Kurum (BE8): Benzin, fuel oil, diesel oil ve bunun gibi yakıtlar bir hidrokarbon bileşenidir. Bu yakıtlar havayla yandığı zaman kimyasal reaksiyona girerler. Bu kimyasal reaksiyon sonucunda HC (hidrokarbon) adını verdiğimiz kurum meydana gelir. Geminin ana ve yardımcı makine sistemlerinde yakıtın iyi yanmaması, kirli yakıt kullanılması gibi nedenlerde egzoz sistemi ve turbo şarjer donanımlarında kurum birikmesine neden olabilmektedir. Bu kurumlar yanıcı özelliktedir.

Yakıt Buharı (BE9): Ana ve yardımcı makinelerde kullanılan yüksek sıcaklıktaki yakıtın buhar fazında bulunması durumudur. Herhangi bir şekilde yakıt buharı kaçağı meydana gelmesi durumu yüksek olasılıkta yangın riskini beraberinde getirmektedir.

Gaz Buharı (BE10): Kaynak ve kesme işlemlerinde kullanılan oksijen, asetilen ve SF6 (Kükürt Hekzaflorür) gibi gazların çıkarmış olduğu yanıcı gaz buharını ifade eder.

Ana Makine Sıcak Yüzey (BE11): Ana makine gemilerin yürütülmesi sağlayan donanımdır. Ana makinenin çalışması sırasında harekete bağlı olarak makinenin iç ve dış yüzeylerinin sıcaklığı artar ve yangına elverişli bir ortam oluşturur.

Ana Makine Egzoz Sistemi (BE12): Ana makine silindirlerinde yakıtın yanması sonucu oluşan sıcak egzoz gazlarının en az dirençle makine silindirlerinden atmosfere atılmasını sağlayan devreye egzoz sistemi denir. Yanma sonucu oluşan ve egzoz manifoldlarından geçen gazların yüksek sıcaklıklara sahip olması nedeniyle yangın için elverişli bir ortamdır.

Ana Makine Turbo Şarjer (BE13): Egzoz gazlarının enerjisinden yararlanarak temiz havayı basınçlı olarak emme manifolduna ve sonrasında yanma odasına gönderen ekipmandır. Ana makinenin verimini ve gücünü artırır.

Ana Makine Sıcak Yakıt Devresi (BE14): Yakıt tanklarında bulunan yakıtın ana makineye iletilmesini sağlayan devre ve bağlantılarıdır. Devrelerde bulunan yüksek sıcaklıktaki yakıt sıcak yüzey oluşmasına neden olur.

Jeneratör Sıcak Yüzeyi (BE15): Gemilerin limanda ve seyir halindeyken ihtiyacı olan enerjinin üretilmesini sağlayan yardımcı makinelerdir. Devre ve bağlantılarında dolaşan sıcak yakıt nedeniyle oluşan sıcak yüzeyler yangın oluşmasına neden olabilir.

Jeneratör Egzoz Sistemi (BE16): D/G'ün silindirlerinde yakıtın yanması sonucu oluşan sıcak egzoz gazlarının en az dirençle silindirlerden atılmasını sağlayan devreyedir.

Jeneratör Turbo Şarjer (BE17): Turbo şarjer, jeneratörün aşırı hava ile beslenmesini sağlayarak, motorun yanma verimi ve performansı arttıran makine parçalarıdır. Sıcak egzoz gazları, yakıt ve T/C içerisinde bulunan yağlama yağı nedeniyle yangın oluşması için elverişli bir ortamdır.

Kazan (BE18): Kazanlar yük, yakıt, sintine, su ve yağ ısıtması amacıyla kullanılan yardımcı makinelerdir. Kazan içinde bulunan su ya da termal yağ yakıtla ısıtılır. Kazan içerisinde yanma işlemi gerçekleştiği için sıcak yüzeylere sahiptir.

Termal Yağ Sistemi (BE19): Termal yağ ısıtıcısı, sirkülasyon pompası, genleşme tankı, depolama tankı, havalandırıcı, boru ve kontrol panelinden oluşan bir ısıtma tesisidir.

İstenilen sıcaklığa ulaştırılan yağ, pompalar aracılığıyla kullanılacak olduğu (kargo, yakıt vb.) devrelere gönderilir. Devrelerinde sıcak yağ ve egzoz gazları dolaştığı için yangın riski oluşturan sıcak yüzeylere sahiptir.

Kompresör (BE20): Kompresörler, havayı veya diğer gazları sıkıştırarak atmosfer basıncından daha yüksek basınçlara çıkarmak için kullanılan yardımcı makinelerdir. İçinde bulundurduğu sıcak yağ nedeniyle yangına elverişli sıcak yüzey oluşturabilirler.

Elektrik Arkı (BE21): Elektrik arkı, mavimsi renkte elektriksel enerji boşalmasıdır. Ark patlamalarında yüksek sıcaklıklar, patlamanın gerçekleştiği noktanın etrafında bulunan havanın hızlı bir şekilde ısınmasına ve yüksek hava basıncının oluşmasına neden olur. Ark patlamaları ateşin, ışığın ve basınç dalgalarının kontrolsüz bir şekilde serbest kalmasıyla aniden ortaya çıkar. Bu anlık olay meydana geldiği ekipmanın hasarlanmasına ve yangın oluşmasına sebep olur.

Spark (BE22): Metal aksamaların kuvvetli çarpışması ve sürtünmesi ile ortaya çıkan ateş fazındaki küçük parçacıklardır. Özellikle kaynak, kesme, taşlama motorunun uygunsuz kullanılması sonucu oluşan sıcak kıvılcıklar etrafa sıçrayarak yakınında bulunan yanıcı maddelerin tutuşmasına neden olur.

Kendiliğinden Tutuşma (BE23): Yakıt buharı ya da yanıcı diğer gazların ateş veya alev kaynağı olmadan, yanabilmesi için ulaşması gereken minimum ısı değeri olarak ifade edilir.

Sıcak Çalışma (BE24): Yanıcı bir gaz karışımının tutuşmasına neden olacak ateşleme kaynakları veya sıcaklıklar içeren çalışmalardır. Welding, burning or soldering, equipment, blow torches, some power driven tools etc.

Statik Elektrik (BE25): Farklı yüzeylerin teması ve ayrılmasıyla ortaya çıkar. Katı-katı, katı-sıvı ve sıvı-sıvı yüzeylerde görülebilir. Statik elektrik kaynaklı kıvılcıklar ciddi tutuşma kaynaklarıdır.

Sigara (BE26): Personel tarafından içilen sigara; katı çöpler, yağlı üstübüleri gibi yanıcı maddelerle temas ederek doğrudan yangına sebep olabilir.

Çıplak Ateş (BE27): Yanıcı özellikli maddelere veya bunların içinde bulunduğu kaplara doğrudan yöneltilen kibrit, çakmak ve benzeri aletlerden kaynaklanan ateş veya alev olarak adlandırılır.

2.4. Bulanık Hata Ağacı Nicel ve Nitel Analizleri

Bu çalışmada FFTA metodu için tanımlanmış TE, gemi makine dairelerinde gerçekleşen yangın/patlama kazalarıdır. Temel olaylar ise daha önce de belirtildiği üzere yangın kazalarını meydana getiren 27 adet kök sebeptir. Çalışmanın bu aşamasında öncelikle kazalarının meydana gelmesinde kök nedenlerin etkinliği hakkında uzman görüşlerine başvurulmuştur. Bu çalışmada yangın/patlama kazalarına bulanık mantık yaklaşımı ile hata ağacı analizi uygulaması, başmühendis, liman devleti kontrol uzmanı, teknik müdür, kaza araştırmacı-profesör ve öğretim görevlisinden oluşan 10 kişilik heterojen bir uzman grubunun görüşleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Uzmanlar, denizcilik sektöründe uzun yıllar deniz tecrübesine sahip, sektörün farklı profesyonel pozisyonlarında aktif olarak çalışmış ve hala çalışmakta olan kişilerden oluşmaktadır. Bulanık mantık metodunun uygulanması seviyesinde değerlendirmeleri yapan uzmanlar mesleki yeterlilikleri, operasyon tecrübeleri ve eğitim düzeyleri dikkate alınarak ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır.

Uzun yıllar mesleki tecrübeye sahip bir gemi adamının yapacağı değerlendirmenin puanı yüksek olmakla birlikte bunun yanında meslekteki yeterliliği ve sürdürdüğü mesleki pozisyonu da vereceği görüşün ağırlığında etkili olmaktadır. Değerlendirme farklılıklarını yansıtmak için her uzmana 0'dan 5'e kadar farklı skorlar belirlenebilir. Uzman grubunun ağırlık skorları Tablo 8 'e göre belirlenmiştir.

Tablo 8. Farklı uzmanların ağırlık skoru

Parametreler	Sınıflandırma	Puanlama
Mesleki Yeterlilik	Liman devleti kontrol uzmanı	5
	Teknik müdür	4
	Profesör (kaza araştırmacı)	3
	Öğretim görevlisi	2
	Denizcilik şirketi sahibi	1
Yeterlilik	Şirket sahibi/Mühendis	1
	Baş Mühendis	5
	2.Mühendis	4
	3.Mühendis	3
Operasyon Tecrübesi (yıl)	Uzak Yol Kaptan	3
	≥ 15	5
	10 to 15	4
	5 to 10	3
	3 to 5	2
	1 to 3	1

Uzman grubunun hata oranı bilinmeyen tehlikelere ait nitel değerlendirmelerini belirlemek için dilsel ölçek kullanılmıştır. Dilsel ölçekler, dilsel ifadelerin kullanılabilmesi için uygun sayısal yaklaşım yöntemi kullanılarak bulanık sayılara dönüştürülmesini için geliştirilmiştir (Chen ve Hwang, 1992). Bu işlem için standartlaştırılmış yedi seviyeden oluşan dilsel ölçek (Çok Düşük (VL), Düşük (L), Hafif Düşük (ML), Orta (M), Hafif Yüksek (MH), Yüksek (H), Çok Yüksek (HV)), kullanılmıştır. Bu ölçeklendirme ile temel olay hata olasılıkları en düşük oranlardan en yüksek oranlara kadar ölçeklendirilmektedir. Bu çalışmada kök olayların olasılık değerlerini hesaplamak için üçgen bulanık sayılar kümesi kullanılmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Dilsel ölçüm skalası ve üçgen bulanık sayı değeri karşılıkları (Rajakarunakaran, 2015).

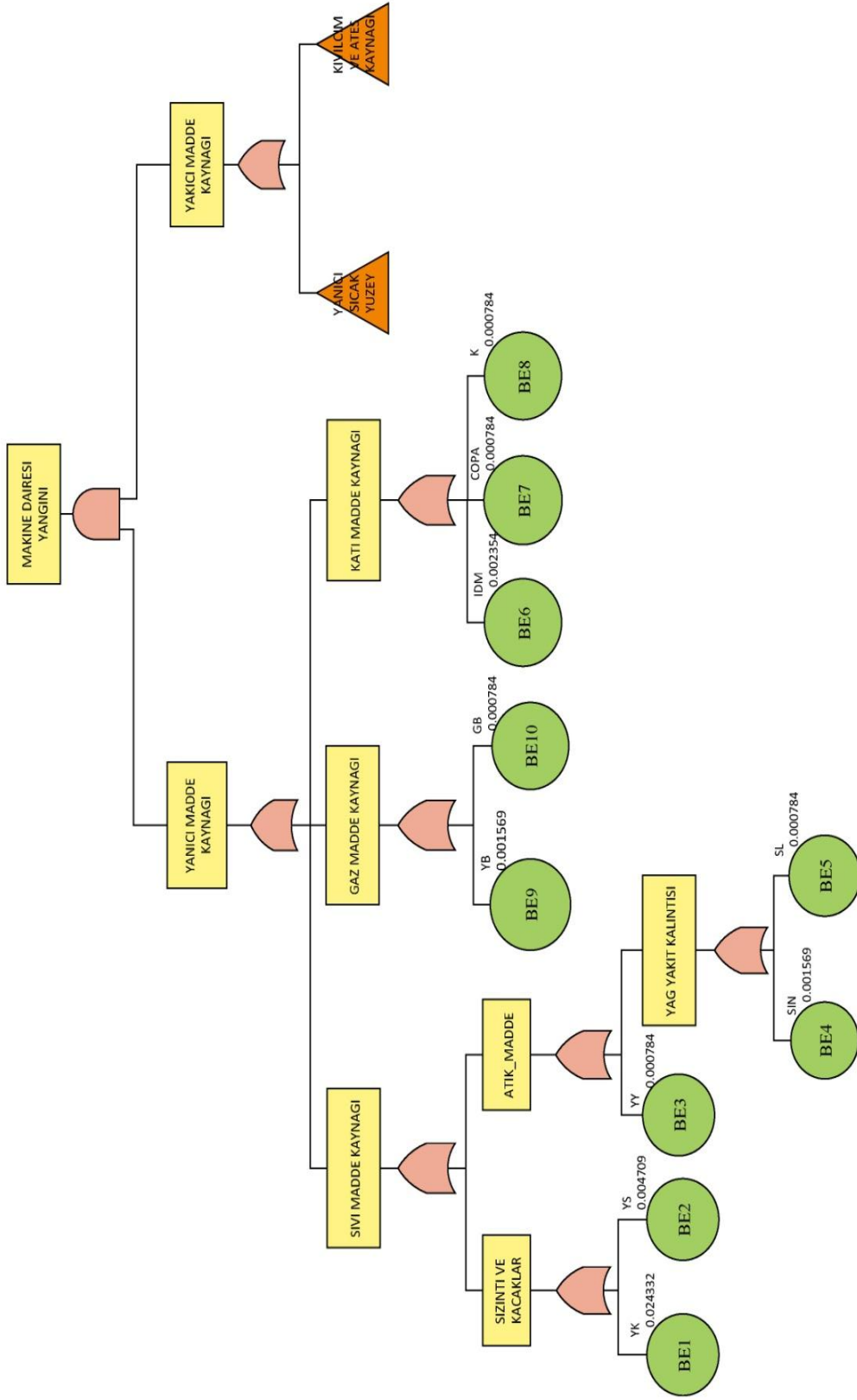
Ölçüm Skalası	Üçgensel Bulanık Sayılar			
	Ölçüm Terimi Kısaltması	a_1	a_2	a_3
Çok Düşük	<i>VL</i>	0	0,04	0,08
Düşük	<i>L</i>	0,07	0,13	0,19
Biraz Düşük	<i>ML</i>	0,17	0,27	0,37
Orta	<i>M</i>	0,35	0,5	0,65
Biraz yüksek	<i>MH</i>	0,63	0,73	0,83
Yüksek	<i>H</i>	0,81	0,87	0,93
Çok yüksek	<i>VH</i>	0,92	0,96	1

Yaptığımız çalışmadaki 27 adet kök olay için 10 kişiden oluşan heterojen uzman grubundan elde edilen nitel veriler toplanarak nicel veriler üretilmiştir. FFTA'da kök olaylar arasındaki ilişkiyi incelemek için toplama aşaması sonucu elde edilen bulanık sayı Sugeno, (1999) tarafından geliştirilen Alan Belirsizlik Merkezi (center of area defuzification) tekniği kullanılarak net puan (crisp score) diğer adıyla 'Bulanık Olasılık Skoru' (fuzzy possibility score) değerine çevrilir. Elde edilen bulanık sonuçlar hata oranı nedeniyle doğrudan kullanılamayacağından, gerçeğe yakın hata olasılıkları hesaplanır (Onisawa, 1990; Onisawa, 1996). Daha sonra uzman değerlendirmesi sonucundan elde edilen Bulanık Başarısızlık Olasılığı (Fuzzy Failure Probability) değerleri, FTA metodunda Monte Carlo simülasyonu kullanarak MCs'ler ve TE olasılık değerleri hesaplanır. Uzman grubunun ortalama benzerlik derecesi, bağlı ortalama benzerlik derecesi ve konsensüs

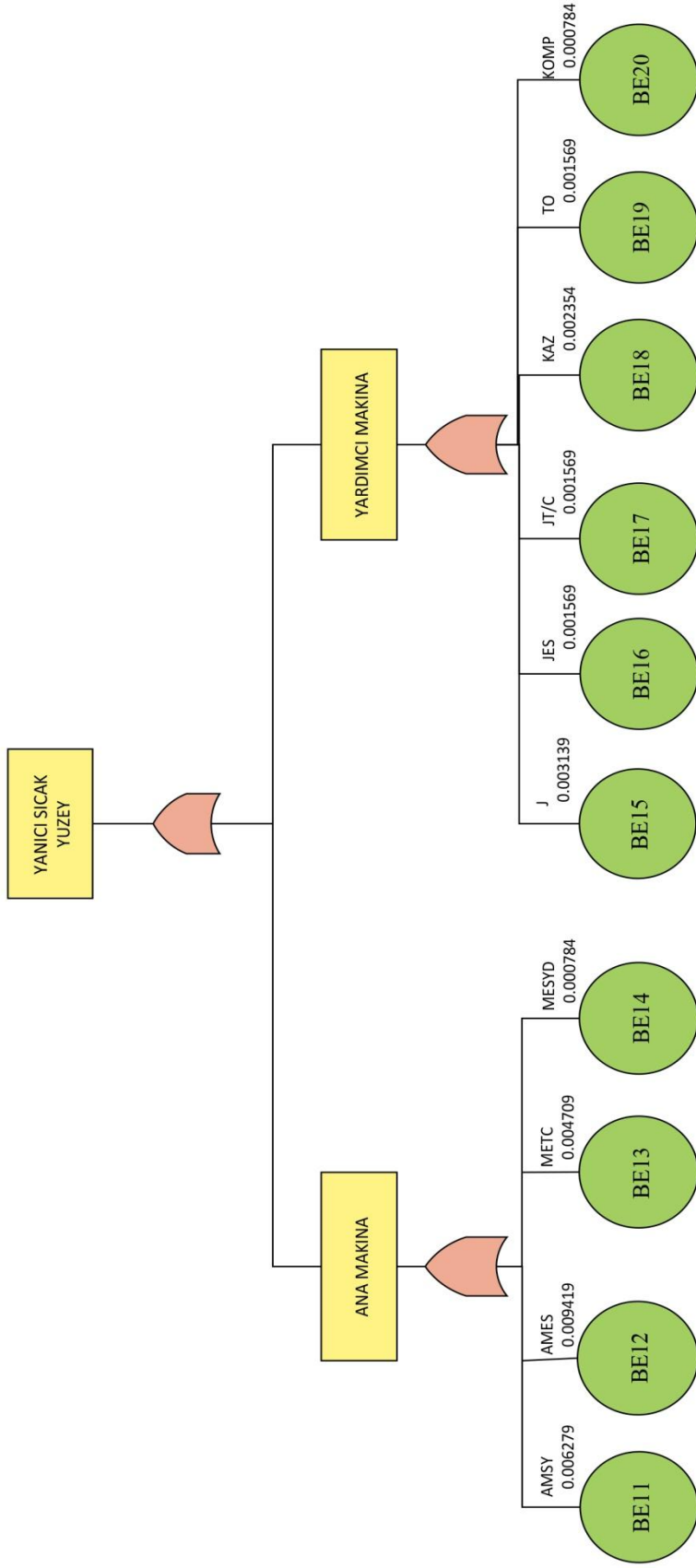
katsayıları (CC) hesaplanır. Böylelikle uzman görüşleri arasındaki benzerlik dereceleri belirlenerek, uzman değerlendirme etkilerinin tanımlanması sağlanır.

Tepe olayı makine dairesi yangını olan hata ağacında yangın olayını meydana getiren 2 ana olay kümesi vardır bunlar: Yanıcı madde kaynağı ve yakıcı madde kaynağıdır. Bu iki ana faktör altında (orta olay) daha önce tanımlaması yapılan 27 adet BE ise kendi aralarında sınıflandırılmış ve aralarındaki ilişki ‘‘Veya’’ kapıları ile kurulmuştur (Şekil 13,14 ve 15). Yanıcı madde kaynağı ve yakıcı madde kaynağı hata ağacında ‘‘Ve’’ kapısı ile birbirine bağlanmıştır. Bunun anlamı iki olay kümesi altında yer alan BE’ler eş zamanlı bir araya geldikleri zaman TE’yi tetikler ve yangın olayı meydana gelir. Gemi makine dairesi yangınları için hata ağacı oluşumu şekil 13, 14 ve 15 de sunulmuştur.

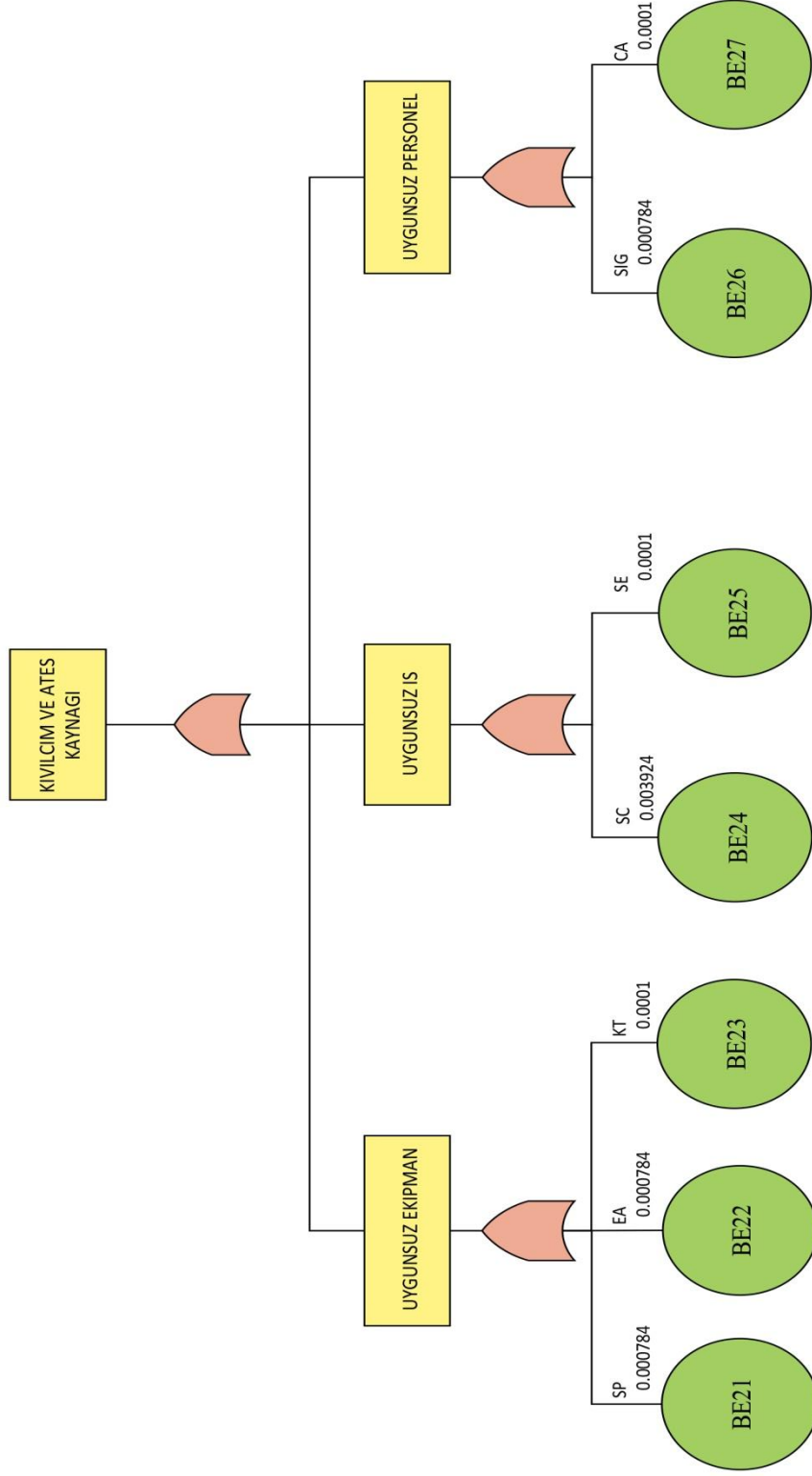




Şekil 13. Yangın/patlama kazalarının Hata Ağacı Analizi yapısı



Şekil 14. Yanıcı sıcak yüzeylerin Hata Ağacı Analizi



Şekil 15. Kıvılcım ve ateş kaynağı Hata Ağacı Analizi yapısı

3. BULGULAR

3.1. Yangın/ Patlama Kazalarının Genel Bulguları

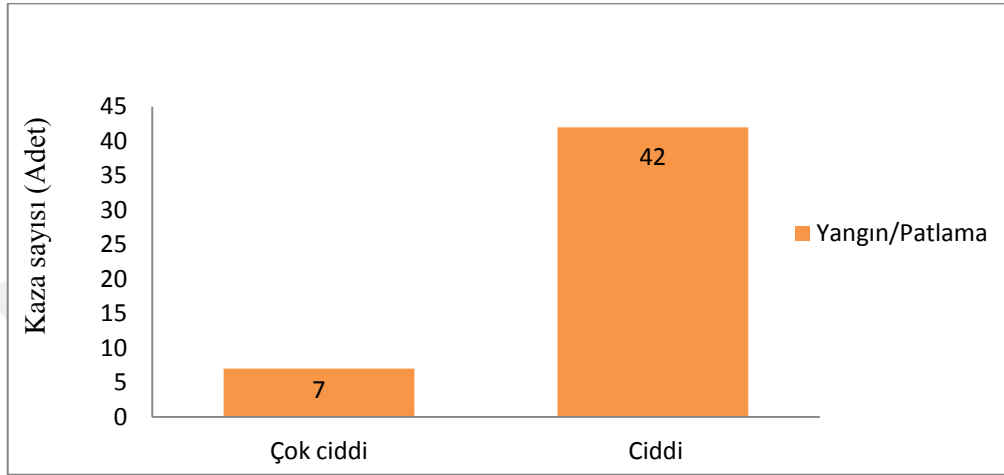
İncelenen kaza veri tabanlarından elde edilen yangın/patlama kazalarına ait raporlar ile oluşturulmuş çalışmaya özgü veri tabanındaki kazaların öne çıkan bulguları Tablo 9’da gösterilmiştir. Bu çalışmanın temelini oluşturan gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın/patlama kazaları, 2000-2019 yılları arasında kaza araştırma kuruluşları tarafından yayınlanmış 49 adet kaza raporunu içermektedir. Gerçekleşen bu kazaların denizcilik sektörüne ve çevresine büyük zararlarının olduğu görülmüştür. Bu kazalar sonucunda geminin kısmi kaybı, geminin hareketini engelleyen yapısal hasar, geminin tamamen kaybı, yaralanma, can kaybı veya deniz çevresi için önemli ölçüde risk oluşturacak çevre kirliliği gerçekleşmiştir.

Çalışmada yangın/patlama kazalarının gemi makine dairelerinde önemli ölçüde yapısal hasara neden olduğu gözlemlenmiştir. Meydana gelen kazaların gemi inşa yılına göre analizi yapıldığında eski inşa gemilerde kazaların çoğunluk gösterdiği görülmektedir. Gemiler yapım yılına göre; 20 ve 20 yaş üstü eski gemiler, 20 yaş altı ise yeni gemiler olarak tanımlanmıştır. Kazaların görülme oranı eski inşa gemilerde %71,4 iken yeni inşa gemilerde %28,6 olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kazalar sonucunda 4 personel hayatını kaybetmiş ve 11 personel ciddi yaralanmalara maruz kalmış ve 2 personel yaralanmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. Çalışmanın veri tabanındaki kazaların genel bulguları

Kazaların genel bulguları	Yangın/Patlama
İncelenen kaza adedi	49
Gemi yapım yılı- 20 ve 20 yaş üstü	35
Gemi yapım yılı- 20 yaş altı	14
Kaza boyutu-Ciddi kaza	42
Kaza boyutu-Çok ciddi kaza	7
Kaza sonucu- Can kaybı	4
Kaza sonucu- Yaralanma	13

IMO'nun kaza boyutuna göre kaza türleri değerlendirildiğinde meydana gelen yangın/patlama kazalarının %85,7'si 42 adedi ciddi ve %14,3'ü 7 adedi çok ciddi boyutlu kazalardır (Şekil 16). Bu durum gemilerde makine dairelerinde meydana gelen yangın/patlama kazalarındaki risk değerini önemli ölçüde göstermektedir.

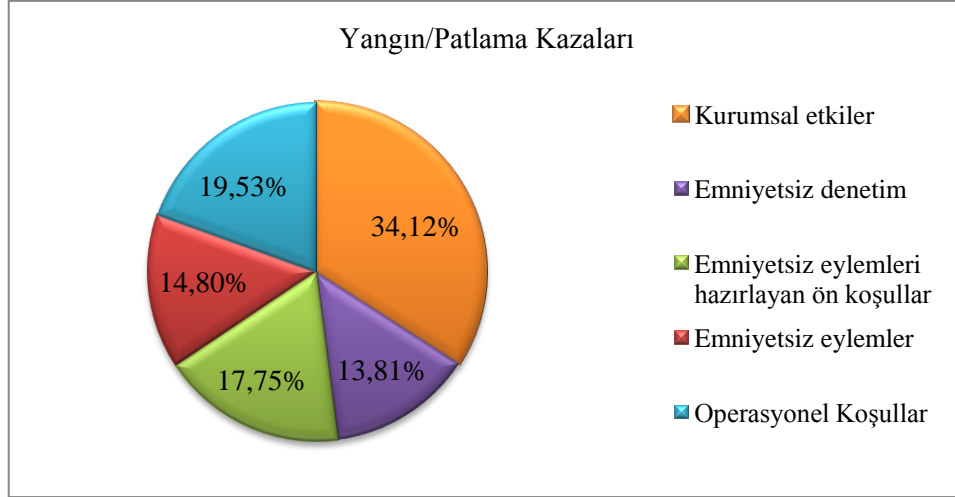


Şekil 16. kazaların IMO'nun kaza boyutu tanımlarına göre dağılımı

3.2. HFACS Modeliyle Elde Edilen Kaza Faktörlerinin İncelenmesi

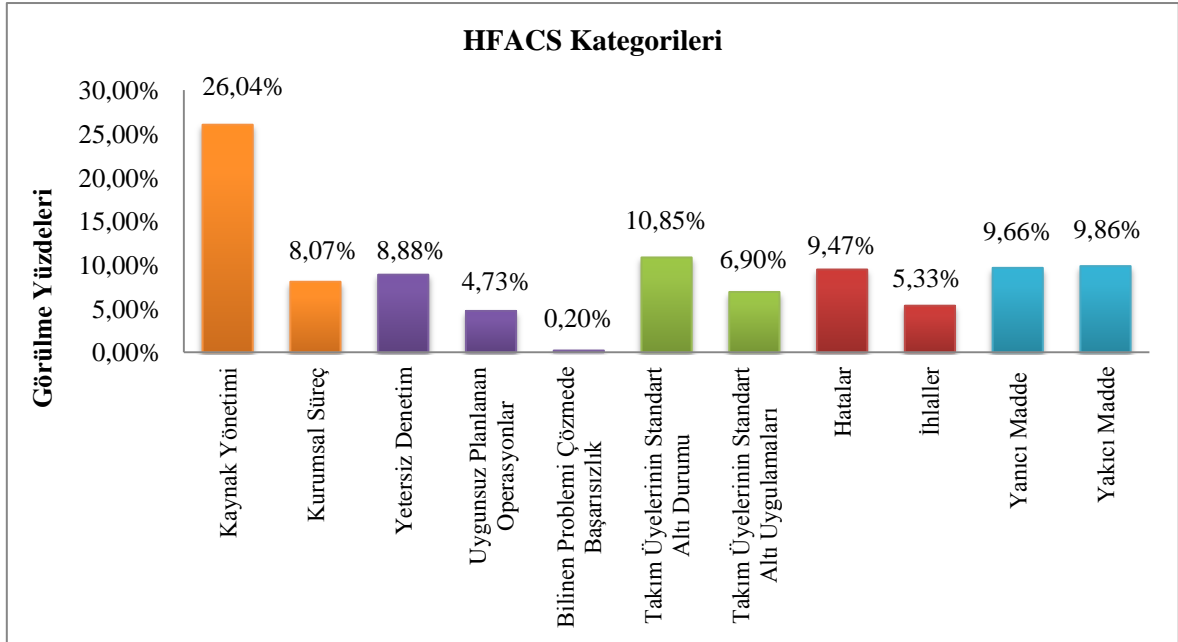
Gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın/patlama kazalarının incelenmesi sonucunda elde edilen bulguların HFACS modeli seviyelerine göre frekans ve yüzdeler dağılımları Tablo 10'da gösterilmiştir. Yangın/patlama kazalarında toplam 283 adet faktör tespit edilmiştir. Bu faktörlerin toplam görülme frekansı 507, ortalama frekans ise 10,35'dir.

Yangın/patlama kazaları için yapılan frekans analizi sonucuna göre HFACS Kurumsal etkiler seviyesi tüm kaza faktörlerinin %34,12'lik değerine karşılık gelmesiyle kazaların gerçekleşmesinde en etkili seviye olmuştur. Benzer şekilde diğer seviyeler incelendiğinde sırasıyla Operasyonel koşullar %19,53, Emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar %17,75, Emniyetsiz eylemler %14,80 ve Emniyetsiz denetim %13,81 hesaplanmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Yangın/patlama kaza faktörlerinin HFACS ana seviyelerde görülme yüzdeleri

HFACS ana yapısına ait alt kategoriler incelendiğinde; kaynak yönetimi %26,04, kurumsal süreç %8,07, Yetersiz denetim %8,88, Takım üyelerinin standart altı durumu %10,85 ve hatalar %9,47 oranıyla gemi makine dairelerinde gerçekleşen yangın/patlama kazalarının oluşumunda etken olan en önemli kategorilerdir (Şekil, 18).



Şekil 18. Yangın/patlama kazalarında HFACS alt kategorilerinin görülme yüzdeleri

Kurumsal etkiler: Operasyon planlanlama sürecinde yapılan hatalar, insan kaynakları yönetimindeki uygunsuzluklar, risk analizi prosedürlerinin olmaması, operasyonlar öncesinde emniyet değerlendirmesinin göz ardı edilmesi gibi üst seviye yönetimin neden olduğu uygunsuzlukları içerir. Kaynak yönetimi, kurumsal iklim ve örgütsel süreç olmak üzere 3 alt sınıfa ayrılır. Bu çalışma için oluşturulmuş olan HFACS yapısında organizasyonel etkiler seviyesinde kodlaması yapılan uygunsuzluklar ve görülme frekanslarına tablo 11’de sunulmuştur. Bu çatı altında toplam 70 adet uygunsuzluk barındırır. Bu uygunsuzluklar toplamda 173 kez görülmüştür. Organizasyonel etkiler seviyesindeki uygunsuzlukların ortalama kaza başına görülme adeti 3,53 tür.

Tablo 11. Kurumsal etkiler seviyesinde kaza faktörleri ve görülme frekansları

		Faktörler	Frekans
Kaynak Yönetimi	İnsan Kaynakları	<u>Eğitim ve Asinalık</u>	
		<u>Gemiye</u>	
		Seviye alarm sistemi (Ana makine / Yardımcı makine / Yakıt tankları)	3
		Filtre değişimi (Yakıt pompası / Yağlama yağı	2
		Dizel jeneratör planlı bakımı	4
		Termal oil sistemi (Bakım ve acil müdahale / konum)	2
		Şirket ISM sistemi ve uygulamalar	5
		Ana makine yakıt pompası	5
		Gemiye-Tersane çalışanları	1
		Gemiye özgü elektrik sistemi (Elektrik zabiti)	1
		Ana Makine Turbo şarjer (T/C) bakımı- Makine ekibi	1
		Buhar kazanı - Makine ekibi	2
	<u>Adam Donatımı</u>		
	Minimum adam donatma	0	
	Bulunduğu rütbe ile uyumsuz (yetersiz)-Kaptan	2	
	Bulunduğu rütbe ile uyumsuz (yetersiz)-Baş Mühendis	15	
	Bulunduğu rütbe ile uyumsuz (yetersiz)-2. Müh.	9	
	Bulunduğu rütbe ile uyumsuz (yetersiz)-3. ya da 4.Müh.	8	
	Bulunduğu rütbe ile uyumsuz (yetersiz)- Elektrik zabiti, Yağcı, Fiter	6	
	Kalifiye olmayan gemi harici personel (Tersane/ Servis ekibi)	3	
	<u>Eksik ekipman ve tesis donatımı</u>		
	Ana makine yedek parçaları	1	
	Yardımcı makine yedek parçaları	0	
	<u>Uygunsuz ekipman ve tesis donatımı</u>		
	<u>Makine dairesi</u>		
	Havalandırma kanalında ısıya dayanıksız hortum kullanımı	1	
	<u>Ana makine</u>		
	Yakıt devresi stop (durdurma) valfleri	1	
	Isıya ve yakıtı dayanıksız conta	1	

Tablo 11'in devamı

		Faktörler	Frekans	
Kaynak Yönetimi	Ekipman ve Tesis Kaynakları	Turbo şarjer RPM sayacı	1	
		Basınç tahliye ekipmanı	1	
		Yakıt besleme devresi orijinal olmayan malzeme	1	
		İzolasyonu yetersiz LSDO devreleri tesisi	1	
		Yağlama yağı filtresi hava tahliye vidası	1	
		Diyaframı kauçuktan olan yakıt pompası	1	
		Yakıt sistemi flanş bağlantılarının orijinal olmayan koruma kapakları	1	
		İzolasyonsuz ana makine yüzeyi	3	
		İzolasyonsuz turbo şarjer	5	
		İzolasyonsuz egzoz manifoldu	8	
		İzolasyonsuz yakıt devresi	1	
		Yardımcı makine ve dizel jeneratör		
		D/G Manometre donanımı	2	
		D/G ebatları uygun olmayan hortum	1	
		D/O yakıt devresi basınca ve ısıya dayanıksız conta	1	
		LSDO Yakıt devresi izolasyon valfi contası	1	
		İzolasyonsuz turbo şarjer	6	
		İzolasyonsuz egzoz manifoldu	7	
		İzolasyonsuz yardımcı makine yüzeyi	1	
		İzolasyonsuz dizel jeneratör yüzeyi	2	
		Yakıt devresinde çıkma O-ring	1	
			<u>Ergonomik dizayn kusuru</u>	
			Makine Dairesi	
			Termal oil sistemi (basınç sayacı bağlantısı / devre)	2
	Kazan (fırın soğutma sistemi / brülör açıklığı)	2		
	Hidrolik yağ tankı havalandırma devresi	1		
	Ana Makine			
	Yakıt pompası (basınç tahliye valfi / yağlama yağı filtre kolu)	2		
	Yakıt devresi (boru bağlantıları /izolasyon valfi)	2		
	Yardımcı Makine ve Dizel Jeneratör			
	Düşük basınç için tasarlanmış D/G yakıt devresi acil durum sistemi	1		
	D/G Manometre bağlantısı (bağlantısının doğrudan T/C üzerine yapılması)	1		
	D/G Geri döndürmez özelliği olmayan durdurma(stop) valfleri	1		
Kurumsal İklım	Kurumsal Yapı	<u>İletişim ve koordinasyon</u>		
		<u>Kumanda zinciri</u>		
		<u>Yetki dağılımı</u>		
	Politikalar	<u>Terfi</u>		

Tablo 11'in devamı

		Faktörler	Frekans
		<u>Uyusturucu ve alkol</u>	
	Kurum kültürü		
	Operasyon yönetimi	Şirketin yedek parça talebini zamanında karşılayamaması	1
Organizasyonel Süreç	Yasal Eksiklikler	<u>Prosedür kaynaklı</u>	
		Skavenç temizliği	1
		Yağlama yağı filtre değişimi	2
		D/G ve yakıt devreleri bakım- tutum	3
		Jeneratör çalıştırma (çalışması gereken yük miktarının belirlenmemesi)	1
		Yakıt devresi stop valfleri bakımı	1
		Yakıt değişimi	2
		Termal oil sistem bakım ve acil durum	2
		Kompresörün rutin alarm testleri (sıcaklık)	1
		Sıcak çalışma- Taşlama motoru kullanımı	1
Ana makine yakıt devresi bakımı	1		
Gözden Geçirme	<u>Mevzuat Kaynaklı</u>	LSDO devre kurulum planlarının devre şemalarını ve yalıtım gereksinimlerini içermemesi	1
		Gemi emniyet yönetim sisteminde gemiye özgü elektrik sistemini tanıttacak eğitimin tanımlanmamış olması	1
		Kullanma Kılavuzunda yedek parça kullanımının yeterince açıklanmaması	1
	<u>Risk Analizi</u>	Planlı Bakım - D/G/ kazan / hidrolik devre / ana makine / yakıt devresi / yakıt pompası / yakıt pompası filtre temizliği	9
		Tamir- Kazan / D/G / Yakıt devresi	3
		Yakıt değişimi operasyonu	2
		Sıcak çalışma – Kaynak / Taşlama motoru	5
		Sigara	1
		Tank temizliği- Yakıt / skavenç / sintine	1
<u>Emniyet Değerlendirmesi</u>	Risk değerlendirmesi göz ardı etmek	1	

Emniyetsiz Denetim: Denetim ve kontrol mekanizması ile ilişkili yaşanan uygunsuzlukları içerisinde barındırır. Denetimin ve kontrol mekanizması işlemediğinde ya da yetersiz kaldığında emniyetsiz davranışları hazırlayan durumlar tespit edilip önlenemez. Böylelikle kaza için elverişli şartlar sağlanmış olur. Bu çatı; yetersiz denetim, planlanan

uygunsuz operasyonlar, bilinen bir problemi çözmeye başarısızlık olmak üzere üç alt kategoriye ayrılır. Makine dairesi yangınları için bu çatı altında kodlaması yapılan uygunsuzluklar tablo 12’ de sunulmuştur. Bu uygunsuzluklar toplam 70 adet görülme frekansına sahiptir. Her makine dairesi yangını içerisinde emniyetsiz denetim seviyesi başlığı altında yer alan uygunsuzluklardan ortalama 1,43 adet barındırır.

Tablo 12. Emniyetsiz denetim seviyesinde kaza faktörleri ve görülme frekansları

	Faktörler	Frekans
Yetersiz Denetim	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Ana makine çalışma saatleri	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-LSDO sisteminin devre ve valf basınçları	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller- Yardımcı makine çalışma saatleri / çalışma performans takibi	4
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Ana makine yakıt devreleri ve ekipmanları	6
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller- D/G gösterge panel ve ekipmanları	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Kazan çalışma performans takibi	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Kompresör (gösterge paneli /çalışma performansı)	2
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Yardımcı makine yakıt devreleri ve ekipmanları	5
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Kazan suyu	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Makine dairesi sintine kuyuları	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Yakıt tankları gösterge paneli	1
	İç denetim eksikliği- rutin testler ve kontroller-Yakıt filtresi izolasyon kolu	2
	Planlı bakım eksikliği-Ana makine yakıt devreleri ve ekipmanları / T/C	2
	Planlı bakım eksikliği-Ana makine yakıt pompası	3
	Planlı bakım eksikliği -Yardımcı makine yakıt devresi ve ekipmanları / T/C	3
	Planlı bakım eksikliği- D/G yakıt devre sistemi ve ekipmanları	5
	Planlı bakım eksikliği-Yağ devreleri ve ekipmanları	1
	Planlı bakım eksikliği-Termal oil sistemi	2
	Planlı bakım eksikliği-Kazan sistemi	1
	Planlı bakım eksikliği-Skavenç temizliği	1
Planlı bakım eksikliği-Incinerator temizliği	1	
Uygunsuz Olarak Planlanmış Operasyonlar	Yapılacak olan iş- yetki dağılımı- Kazan tamiri-D/G	1
	Yapılacak olan iş- görev dağılımı	1
	Yapılacak olan iş- içerik planlaması - Yakıt Değişimi	1
	Yapılacak olan iş- içerik planlaması- Sıcak çalışma alanının tanımlanması	3
	Yapılacak olan iş- içerik planlaması- Sıcak çalışma (temiz olmayan alanda)	2
	Yapılacak olan iş- içerik planlaması- Sıcak çalışma sırasında yangın gözcüsü görev yeri değişikliği	1
	Yapılacak olan iş- içerik planlaması- Sıcak çalışma (taş motoru kullanımı)	1
	Yapılacak olan iş- içerik planlaması- Ana makine egzoz manifold kapakları demonteyken çalışma	2

Tablo 12'nin devamı

	Faktörler	Frekans
Uygunsuz Olarak Planlanmış Operasyonlar	Yapılacak olan iş- içerik planlaması-LSDO sisteminin onaylı bir devre çizim planı olmadan kurulumun planlanması	1
	Eksik personelle iş planlaması - Kazan tamiri	1
	Eksik personelle iş planlaması - Yakıt tankı tamiri	1
	Eksik personelle iş planlaması - Sıcak çalışma	3
	Eksik personelle iş planlaması -D/G tamiri	5
	Çalışma dinlenme saatleri - Liman iş yükü	1
	Problemi Çözmede Başarısızlık	Makine dairesindeki çöplerin emniyetsiz depolanması

Emniyetsiz eylemi hazırlayan ön koşullar: Gizli kusurların son seviyedir. Zihinsel yorgunluk, fiziksel yorgunluk, iletişim eksikliği, ilaç etkisinde olma, gemi cihaz arızaları gibi operatörlerin karar vermelerini olumsuz yönde etkileyen durumları ve faktörleri kapsar. Tablo 13 bu çatı altında yer alan uygunsuzlukları içerir. Bu çatı altında toplam 90 adet faktörün kodlaması yapılmıştır. Bu faktörlerin kaza başına ortalama görülme adeti 1,84 dir.

Tablo 13. Emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar seviyesinde kaza faktörleri ve frekansları

	Faktörler	Frekans
Standart Dışı Ekip Üyeleri	<u>Olumsuz Zihinsel Durum</u>	
	Durumsal farkındalık eksikliği- Makine ekibi	22
	Durumsal farkındalık eksikliği- Baş Mühendis	3
	Durumsal farkındalık eksikliği- Vardiya mühendisi	5
	Dikkatsizlik - Makine ekibi	5
	Dikkatsizlik- Vardiya mühendisi	1
	Dikkatsizlik- Tamir ekibi	1
	Aşırı özgüven ve rahatlık- Makine ekibi	4
	Aşırı özgüven ve rahatlık- Baş Mühendis	3
	Aşırı özgüven ve rahatlık- Vardiya mühendisi	3
	Uykusuzluk- Makine ekibi	1
	Stress	1
	Zabitin zihinsel yorgunluğu	1
	Baş Mühendisin tecrübelerinden dolayı yanlış vidayı gevşetmesi	1
	<u>Olumsuz Fiziksel Durum</u>	
	Fiziksel yorgunluk-Vardiya mühendisi	1
	Fiziksel yorgunluk- Makine ekibi	1

Tablo 13'ün devamı

		Faktörler	Frekans
Takım Üyelerinin Standart Altı Uygulamaları	<u>Fiziksel ve Zihinsel Sınırlamalar</u>		
		Aşırı iş yükü- Vardiya mühendisi	1
		Takım üyelerinin eksikliğinden kaynaklı aşırı iş yükü	1
	<u>Göreve Hazır Olma</u>		
		İlaç etkisinde operasyon – Baş Mühendis	0
		İlaç etkisinde operasyon - Vardiya mühendisi	0
		Alkol kullanımı-Baş Mühendis	0
		Alkol kullanımı- Vardiya mühendisi	0
	<u>Köprüüstü Takım Yönetimi</u>		
	<u>Uygunsuz yönetim faaliyetleri</u>		
		Gevşek takım yönetimi	2
		Baş Mühendisin otorite eksikliği	1
		Baş Mühendisin yönlendirme hatası- İş Planlaması (iş sıralaması/ personel ataması / gözcü)	6
		Başmühendisin yönlendirme hatası- Bakım-tutum (Ana Mk./ yardımcı Mk./Yakıt devre ve sistemleri / Kazan / Termal oil sistemi)	10
		Baş Mühendisin yönlendirme hatası- Sıcak çalışmanın uygunsuz sevk ve idaresi	2
		Baş Mühendisin yönlendirme hatası- Geri bildirim istememesi	1
		Baş Mühendisin yönlendirme hatası- Tamir ekibine gözcü olarak Mk. Mühendisi görevlendirmemesi	1
	<u>İletişim yoksunluğu</u>		
		İletişim kuramama-Baş Mühendis- Mk. Mühendisleri	5
		İletişim kuramama- Makine ekibi	4
	İletişim kuramama-Tersane-gemi	1	
	İletişim kuramama- Fiter- yangın gözcüsü	1	
	İletişim kuramama- Şirket- Gemi	1	

Emniyetsiz Eylemler: Gemi kazalarının görünen yüzüdür. Önceki üç seviyedeki gizli kusurların bir düzen içinde bir araya gelmesi sonucu oluşur. Gizli kusurların olumsuz etkileri emniyetsiz eylemler ile bir araya geldiği zaman sistemin savunması kırılır, bunun sonucunda da kaza meydana gelir (Reason, 1990; Reason vd., 2006). İnsan tarafından bilerek ya da istemeyerek verilen yanlış veya hatalı kararları içerisinde barındırır. Hatalar ve ihlaller olmak üzere 2 alt kategoriye ayrılır. Bu çatı altında yer alan uygunsuzluklar tablo 7'de sunulmuştur. Kodlaması yapılan bu uygunsuzlukların görülme frekansı toplam 75 adettir ve kaza başına ortalama görülme adeti 1.53 adettir.

Tablo 14. Emniyetsiz eylemler seviyesinde kaza faktörleri ve görülme frekansları

		Faktörler	Frakans
Hatalar	Beceri Hataları	<u>Ana Makine</u>	
		Yakıt devresi ve elemanları-hatalı bağlantı (Yakıt pompası yakıt püskürtme koruyucu kalkanlarının hatalı bağlanması, banjo cıvatasının hatalı bağlantısı)	7
		Yakıt devresi ve elemanları-Cıvata/somun/ tapaların uygun torkla sıkılmaması	2
Yapılan işe hakim olmama - Yakıt sistemi ve onun çalışma prensibi		1	
Yapılan işe hakim olmama- T/C, bakım-onarım işlemleri		1	
<u>Yardımcı Makine</u>			
Yakıt devresi ve elemanları-Cıvata/somun/ tapaların uygun torkla sıkılmaması		2	
Yapılan işe hakim olmama-Incineratör hava flaplarını yanlış kapatması		1	
Yapılan işe hakim olmama- D/O yakıt pompası kapak cıvatalarının basıç altında gevşetilmesi		1	
Yapılan işe hakim olmama- D/G yakıt filtre kapağı cıvatalarının hava tahliye valfi açılmadan gevşetilmesi		1	
Yapılan işe hakim olmama-Gemi hidrolik devrelerinin bakımı		1	
Yapılan işe hakim olmama-Termometre yerine bağlı olduğu tüm donanımın devreden çıkarılması		1	
Yapılan işe hakim olmama- D/G'de yakıt kaçağı müdahalesi (3. Müh. yanlış müdahalesi- taşlama motoru kullanımı)		1	
Yapılan işe hakim olmama- Kazan sistemi bakım-onarım işlemleri		3	
Yapılan işe hakim olmama- Kompresör bakım-tutum işlemleri		1	
Yapılan işe hakim olmama- D/G, bakım-onarım işlemleri	3		
Yapılan işe hakim olmama- T/C, bakım-onarım işlemleri	3		
Yapılan işe hakim olmama- Termal oil sistemi, bakım-onarım işlemleri	2		
Karar Hataları	<u>Ana Makine</u>		
	Ana makine üzerinde yakıt enjektöründe fark edilen yakıt sızıntısının geçici olarak durdurulması	1	
	Yakıt sisteminde ani düşük basıncın sebebi bulunmadan, gerekli önlemler alınmadan sirkülasyon pompasının durdurulması	1	
	Baş Mühendisin yakıt sızıntısını fark ettiğinde manometre bakır bağlantı borusunu değiştirmek yerine somunları sıkıştırması	1	
	<u>Yardımcı Makine</u>		
	Kıça trimi fazla olan gemide hatalı dizayna sahip hidrolik yağ devresinin bakımı	1	
	Manometre donanımının bakımının orginal parça olmadan planlanması	1	
	D/G Yakıt sızıntısına geçici/ geç müdahale (Vardiya Müh. tek başına yakıt sızıntısına müdahale etmeye karar vermesi)	3	
	Manometrenin bakır bağlantı borusundan gelen yakıt sızıntısına yapılan geçici müdahale	2	
	D/G' nin birkaç kez kendini kapatmasına rağmen yeniden devreye alınması	1	
	D/G durdurulma kararının geç alınması	1	
	D/G de kullanılan esnek hortumun arızasının geçici olarak giderilmesi	1	
Algı Hataları	Başmühendisin yorumlama hatası - işi önemsememesi	2	
	Başmühendisin normal vida yerine markalanmamış hava firar vidasını gevşetmesi	1	
	Yakıt tankı alarm göstergesi arızalarının tespiti	1	

Tablo 14'ün devamı

		Faktörler	Frekans
İhaller	Yasal Düzenleme (Regülasyon)	Ana makine F/O yakıt devrelerinin koruyucu kapaklarının tamamen çıkartılması (yakıt sızıntı ve yangına karşı korumasız bırakmak) (Canada Shipping Act, Safe Working Practices Regulations, item 9)	1
		Ana makine yakıt sistemine ait flanşlı bağlantıları için orijinal olmayan koruma kapakları kullanımı (SOLAS II-2 Kural, 4)	1
		Tamir ekibi tarafından T/C yağ atıcısının monte edilmemesi (instructor manual)	1
		Uygunsuz yedek parça kullanımı -O-Ring (çıkma parça) (instructor manual)	1
		T/C ın gereğinden fazla hızlı? Çalıştırılması (instructor manual)	1
		A/E bakım- tutumda orijinal olmayan malzeme (instructor manual)	3
		LSDO sisteminin kurulumunda yakıt izolasyon valfinde uygun olmayan parça kullanılması (Bayrak devleti - Klas kuruluşu)	1
		Yakıt borularının ve kollarının, sızıntıların ısı kaynaklarına yönlendirilmesi (SOLAS II-2 Regulation 4 - Canada Shipping Act, Marine Machinery Regulations, Schedule XII, item 21)	1
		Manometre (bağlantı borusunda çelik yerine bakır kullanılması, SOLAS II-2 Kural, 4)	1
		Prosedür	Şirket prosedürlerine aykırı- Sıcak Çalışma (eksik hazırlanmış)
Şirket prosedürlerine aykırı- Yakıt Değişimi	2		
Şirket prosedürlerine aykırı- Skavenç Temizliği	1		
Emniyet prosedürlerine aykırı- Tersane gemi arası sıcak çalışma	2		
Şirket prosedürlerine aykırı- Sıcak çalışma (düzenlenmemiş)	3		
Şirket prosedürlerine aykırı - Incineratör çalıştırma ve temizliği	1		
Şirket prosedürlerine aykırı - Ana makine çalışırken ana makine rotor kapağının açılması (bakım-tutum)	1		
Şirket prosedürüne aykırı-Yasak olan Mk. alanlarında sigara içilmesi	1		
Kazan Brülör servisi	1		
Şirket prosedürlerine aykırı - Taşlama motoru kullanmadan önce iş izni	1		
Suistimaller		0	

3.3. FFTA Metodunun Nicel ve Nitel Hesaplamaları ile İlgili Bulgular

3.3.1. Uzman Değerlendirmesi Sonucu Elde Edilen Bulgular

FFTA metodu ile Yangın/patlama kazalarının oluşumunda etken olan kök nedenlerin değerlendirilmesinde uzman görüşleri kullanılmıştır. Uzmanların ağırlıklandırma değerleri hesaplanmış (Tablo 15) ve 6, 9 ve 10 numaralı uzmanlar 0,122807; 0,131579 ve 0,122807 oranında ağırlık değerleri ile en yüksek oranda ağırlık değerine sahip uzmanlar olarak

belirlenmiştir. Bu nedenle bulanık hata ağacı hesaplamalarında bu üç uzmana ait değerlendirmeler en yüksek etkiye sahip olmuştur.

Tablo 15. Yangın/Patlama kazalarını değerlendiren uzmanların ağırlıklandırma hesapları

Uzman No.	Profesyonel Pozisyon	Mesleki Yeterlilik	Operasyon Tecrübesi (yıl)	Ağırlık skoru			Toplam skor	Ağırlık Faktörü
1	Profesor	Uzak Yol Kaptan	19	3	3	5	11	0,096491
2	Öğretim Görevlisi	2.Mühendis	11	2	4	4	10	0,087719
3	Teknik Müdür	Baş Mühendis	14	4	5	4	13	0,114035
4	Öğretim Görevlisi	Baş Mühendis	16	2	5	5	12	0,105263
5	Firma Sahibi	2.Mühendis	12	1	2	4	7	0,061404
6	Teknik Müdür	Baş Mühendis	16	4	5	5	14	0,122807
7	3. Mühendis	3.Mühendis	9	2	2	3	7	0,061404
8	Öğretim Görevlisi	Baş Mühendis	11	2	5	4	11	0,096491
9	PSC	Baş Mühendis	27	5	5	5	15	0,131579
10	PSC	Baş Mühendis	12	5	5	4	14	0,122807
							114	1,000000

3.3.2. Bulanıklaştırma Aşaması İnceleme Bulguları

İnsan çalışma belleği kapasitesinin tipik tahmini, yedi artı/eksi iki parçadır. Bu, insanların uygun kararlar vermesi için dilsel terim seçiminde uygun sayının, 5-9 arasında olduğu anlamına gelmektedir (Miller, 1956; Norris, 1998). Önerilen yöntemde, bilinmeyen başarısızlık oranıyla tehlikelerin öznel değerlendirmesini yapmak için 7 sözlü terim ölçeği seçilmiştir. Hata olasılığı dağılımında kullanılan dilsel değerler yedi adetten oluşmaktadır (çok yüksek, yüksek, oldukça yüksek, orta, biraz düşük, düşük ve çok düşük) [VH, H, MH, M, ML, L, VL]. Temel olay hata olasılıkları en düşük oranlardan en yüksek oranlara kadar ölçeklendirilir. Yukarıda belirtilen dilsel ölçek, hata oranı bilinmeyen tehlikelere ilişkin uzmanların niteliksel yargılarını belirlemek için kullanılmaktadır. Temel olayların Tepe olayının (makine dairesi yangınları) gerçekleşmesindeki etkileri uzman görüşüne sunulmuş ve uzman değerlendirmeleri sonucunda BE1 ve BE12 temel olaylarının en yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür (Tablo 16).

Tablo 16. Temel Olayların Uzman Değerlendirme Skalası

No	Temel Olaylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Yakıt kaçağı	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH
2	Yağ sızıntısı	H	MH	MH	H	H	H	MH	MH	H	MH
3	Yağlı Yüzeyleyler	M	M	ML	M	L	H	ML	M	MH	H
4	Sintine	MH	L	L	MH	L	L	VL	ML	M	M
5	Slaç	MH	VL	L	MH	ML	M	L	ML	L	M
6	Yakıt buharı	ML	M	ML	H	M	MH	H	MH	ML	L
7	Gaz birikintisi	L	L	L	L	M	L	L	L	MH	VL
8	Isıya dayanıksız malzeme	M	MH	ML	M	ML	MH	M	H	M	H
9	Çöpler atıklar	ML	M	M	H	L	M	ML	H	MH	H
10	Kurumlar	ML	M	L	ML	L	M	MH	MH	MH	MH
11	Ana makine sıcak yüzey	H	VH	MH	H	MH	H	H	MH	H	VH
12	Ana makine egzoz sistemi	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H
13	Ana makine T/C	MH	MH	H	H	MH	H	M	H	VH	M
14	Sıcak yakıt devresi	ML	MH	L	ML	M	H	MH	H	H	VH
15	Jeneratör sıcak yüzey	MH	L	MH	H	ML	M	M	M	MH	H
16	Jeneratör egzoz sistemi	MH	M	H	VH	M	H	VH	H	VH	H
17	Jeneratör T/C	M	M	MH	H	ML	H	M	MH	VH	ML
18	Kazan	MH	MH	MH	H	M	H	MH	H	VH	M
19	Termal oil devresi	M	H	M	M	MH	H	MH	MH	H	H
20	Kompresör	L	VL	L	L	L	VL	VL	VL	VL	L
21	Kıvılcım	ML	MH	M	MH	L	H	L	MH	MH	VH
22	Elektrik arkı	M	L	ML	H	L	ML	VH	MH	VH	MH
23	Kendiliğinden tutuşma	L	L	VL	L	VL	L	ML	VL	VL	ML
24	Sıcak çalışma	H	MH	VH	H	MH	MH	ML	H	H	H
25	Statik elektrik	L	VL	VL	VL	L	VL	L	VL	VL	L
26	Sigara	L	M	L	L	ML	MH	M	MH	M	L
27	Çıplak ateş	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L	VL

3.3.3. Toplama Aşaması Hesaplama Sonucu Elde Edilen Bulgular

Heterojen dağılıma sahip bir grup içerisindeki uzmanlar kendi ilgi alanına ve mesleki tecrübesine göre farklı görüşlere sahiptir. Bu nedenle uzman görüşlerinin değerlendirilmesi ve fikir birliğini sağlamak amacıyla uzman görüşlerini toplamak etmek gerekir. Bu çalışmada yangın/patlama kazalarında etken olan 27 adet kök sebep değerlendirmesi için

10 kişiden oluşan heterojen uzman grubu oluşturulmuştur. Bu aşamada, görüşlerine başvuru tüm uzmanların değerlendirmeleri daha önce metodoloji kısmında verilen formüllerle birleştirilir. Bu işlemler örnek olarak BE14 (sıcak yakıt devresi) kök sebebine uygulanmış ve BE14 temel olayının bulanık olasılık değeri 0,64057 olarak bulunmuştur (Tablo 17). Benzer şekilde BE14 temel olayının benzerlik fonksiyonu değerleri (Tablo 18), uzmanların ortalama ve bağıl ortalama benzerlik değerleri (Tablo 19) ve konsensüs katsayısı değerleri (Tablo 20) hesaplanmıştır. Yaptığımız çalışmada konsensüs katsayısı hesaplamalarında $\beta = 0,5$ alınarak tablodaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 17. Temel olay BE14 uzman görüşü toplama aşaması hesap değerleri

Temel Olay BE14 Toplanması (Aggregation Of Basic Event14)			BE14'ün Bulanık Olasılığı	BE14'ün başarısızlık olasılığı üretimi	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	BE14 FV-I indeks değeri	BE14 FV-I sıralama ölçeği
0,56016	0,64058	0,72099	0,64057	1,90	1,26516E-02	1,70940E-07	10

Tablo 18. Temel olay BE14 benzerlik fonksiyonları değerleri hesaplamaları

Bulanık Değerler			Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri
0,17	0,27	0,37	S(1,2)	0,54000	S(2,9)	0,86000	S(5,6)	0,63000
0,63	0,73	0,83	S(1,3)	0,86000	S(2,10)	0,77000	S(5,7)	0,77000
0,07	0,13	0,19	S(1,4)	1,00000	S(3,4)	0,86000	S(5,8)	0,63000
0,17	0,27	0,37	S(1,5)	0,77000	S(3,5)	0,63000	S(5,9)	0,63000
0,35	0,50	0,65	S(1,6)	0,40000	S(3,6)	0,26000	S(5,10)	0,54000
0,81	0,87	0,93	S(1,7)	0,54000	S(3,7)	0,40000	S(6,7)	0,86000
0,63	0,73	0,83	S(1,8)	0,40000	S(3,8)	0,26000	S(6,8)	1,00000
0,81	0,87	0,93	S(1,9)	0,40000	S(3,9)	0,26000	S(6,9)	1,00000
0,81	0,87	0,93	S(1,10)	0,31000	S(3,10)	0,17000	S(6,10)	0,91000
0,92	0,96	1,00	S(2,3)	0,40000	S(4,5)	0,77000	S(7,8)	0,86000
			S(2,4)	0,54000	S(4,6)	0,40000	S(7,9)	0,86000
			S(2,5)	0,77000	S(4,7)	0,54000	S(7,10)	0,77000
			S(2,6)	0,86000	S(4,8)	0,36000	S(8,9)	1,00000
			S(2,7)	1,00000	S(4,9)	0,40000	S(8,10)	0,91000
			S(2,8)	0,86000	S(4,10)	0,31000	S(9,10)	0,91000

Tablo 19. Uzmanların ortalama ve göreceli anlaşma değerlerinin bulguları

Uzman no	Uzmanların ortalama benzerlik değerleri (AA)	Uzman no	Uzmanların bağıl ortalama benzerlik değerleri (RA)
E1	0,58000	E1	0,08944
E2	0,73333	E2	0,11309
E3	0,45556	E3	0,07025
E4	0,57556	E4	0,08876
E5	0,68222	E5	0,10521
E6	0,70222	E6	0,10829
E7	0,73333	E7	0,11309
E8	0,69778	E8	0,10761
E9	0,70222	E9	0,10829
E10	0,62222	E10	0,09596

Tablo 20. Konsensüs katsayısı (CC) bulguları

Uzman No	CC
E1	0,09297
E2	0,10041
E3	0,09214
E4	0,09701
E5	0,08331
E6	0,11555
E7	0,08725
E8	0,10205
E9	0,11994
E10	0,10938

3.3.4. Durulaştırma Aşaması Hesaplamaları ile İlgili Bulgular

Hata ağacı analizinde kök olaylar arasındaki ilişkiyi incelemek için toplama aşaması sonucu elde edilen bulanık sayı değerleri Sugeno (1999), tarafından geliştirilen alan belirsizlik merkezi (center of area defuzification) yöntemi ile her bir temel olaya ait bulanık olasılık değerleri hesaplanmıştır. BE1 yakıt kaçağı temel olayına ait 0,96 olarak hesaplanan bulanık olasılık değeri en büyük değer olarak belirlenmiştir (Tablo 21). İkinci ve üçüncü önemli olasılık değerine sahip temel olayların ise BE11 (ana makine sıcak yüzey) ve BE12 (Ana makine egzoz sistemi) olduğu görülmüştür.

Tablo 21. Temel olaylara ait bulanık olasılık skoru değerleri

BE no	Toplama aşaması sonuçları			Bulanık Olasılık Skoru
BE1	0,92000	0,96000	1,00000	0,96000000
BE2	0,72158	0,80123	0,88088	0,80122807
BE3	0,42461	0,53433	0,64405	0,534328093
BE4	0,23969	0,32997	0,42025	0,329970993
BE5	0,24782	0,34116	0,43451	0,341164349
BE6	0,40157	0,49976	0,59795	0,499759198
BE7	0,13374	0,20154	0,26934	0,201541807
BE8	0,46816	0,58099	0,69381	0,580986528
BE9	0,47202	0,57356	0,67509	0,573557434
BE10	0,37880	0,48247	0,58613	0,482466265
BE11	0,78165	0,84885	0,91605	0,848849513
BE12	0,90815	0,95030	0,99246	0,950301105
BE13	0,69006	0,77504	0,86002	0,775040656
BE14	0,56016	0,64058	0,72099	0,640575256
BE15	0,50468	0,60831	0,71195	0,608314778
BE16	0,75417	0,82602	0,89788	0,8260204
BE17	0,53849	0,63760	0,73671	0,637600214
BE18	0,66899	0,75863	0,84826	0,758625034
BE19	0,62532	0,72273	0,82014	0,722729703
BE20	0,03500	0,08500	0,13500	0,08500000
BE21	0,52895	0,61813	0,70731	0,61812764
BE22	0,48144	0,56475	0,64807	0,564754141
BE23	0,06024	0,11956	0,17888	0,11956082
BE24	0,73234	0,80419	0,87604	0,804190445
BE25	0,02581	0,07318	0,12055	0,073178916
BE26	0,27089	0,36897	0,46706	0,368974145
BE27	0,00785	0,05009	0,09234	0,050093632

3.3.5. Başarısızlık Olasılığı Üretimi Sonucu Elde Edilen Bulgular

Bulanık Olasılık puanı (Fuzzy Possibility score) FPS'nin, FFP bulanık başarısızlık olasılığına (fuzzy failure probability) dönüştürmek için kullanılan formül (20) metodoji bölümünde gösterilmiş ve bu formülün temel olayların her birine uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 22'de gösterilmiştir. En yüksek bulanık başarısızlık olasılık değerine sahip temel olaylar 1,59326E-01 ve 1,37883E-01 sayısal değerleriyle BE1 (yakıt kaçağı) ve BE12 (ana makine egzoz sistemi) olduğu görülmektedir.

Tablo 22. Temel olayların bulanık başarısızlık olasılığı değerleri

Temel Olay	Bulanık Olasılık Puanı	Bulanık Başarısızlık Olasılığı
BE1	0,9600000	1,59326E-01
BE2	0,80122807	3,58239E-02
BE3	0,534328093	6,34020E-03
BE4	0,329970993	1,21962E-03
BE5	0,341164349	1,36327E-03
BE6	0,499759198	4,99185E-03
BE7	0,201541807	2,28597E-04
BE8	0,580986528	8,63978E-03
BE9	0,573557434	8,23106E-03
BE10	0,482466265	4,41113E-03
BE11	0,848849513	5,07549E-02
BE12	0,950301105	1,37883E-01
BE13	0,775040656	2,99570E-02
BE14	0,640575256	1,26516E-02
BE15	0,608314778	1,03051E-02
BE16	0,8260204	4,27514E-02
BE17	0,637600214	1,24157E-02
BE18	0,758625034	2,68619E-02
BE19	0,722729703	2,12834E-02
BE20	0,08500000	8,30563E-06
BE21	0,61812764	1,09716E-02
BE22	0,564754141	7,76891E-03
BE23	0,11956082	3,33693E-05
BE24	0,804190445	3,65730E-02
BE25	0,073178916	4,32951E-06
BE26	0,368974145	1,77135E-03
BE27	0,050093632	7,31202E-07

3.3.6. Tepe Olayın Başarısızlığı Olasılığının İnceleme Bulguları

Uzman gurubu tarafından değerlendirilen 27 adet BE sonucunda elde edilen bulanık başarısızlık olasılığı (Fuzzy Failure Probability) değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada 170 adet MCs'in ve TE olasılık değerlerinin hesaplanmasında Open FTA programı kullanılmıştır (Uğurlu vd., 2015b). TE'in olasılık değeri 7.401206E-002 olarak hesaplanmıştır.

3.3.7. Hata Ağacının Önem Derecesi Ölçüsü Hesaplaması ile İlgili Bulgular

Tepe olayın (makine dairesi yangınları) meydana gelmesinde etken olan en önemli temel olayların (BE) ve minimum kesme setlerinin (MCS) belirlenmesi oldukça önemli bir işlemdir. Bu değerlerin doğru şekilde hesaplanması gerekli iyileştirmelerin

belirlenebilmesi için öncelikli bir konuma sahiptir. Makine dairesi yangını hata ağacındaki yangın/patlama kazası oluşumuna neden olan en önemli temel olaylar (BE), Fusselle-Vesely önemi (FV-I) değerleri ile doğrulanabilir (Tablo, 23). Bu değerlerin hesaplanması sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde BE1 (yakıt kaçağı), BE2 (Yağ Sızıntısı), BE12 (ana makine egzoz sistemi), BE11 (Ana makine sıcak yüzey) ve BE16 (Jeneratör egzoz sistemi) temel olaylarına özel olarak dikkat gösterilmesi gerektiğine ve bu BE'lerin yangın/patlama kazasına neden olabilecek en yüksek potansiyele sahip oldukları sonucuna varılmaktadır.

Tablo 23. BE için FV-I ve Bulanık Başarısızlık Olasılığı Hesaplamaları

Temel olay-BE	Toplam bulanık sayılar			Bulanık Başarısızlık Olasılığı	FV-I Değeri	Sıra
BE1	0,9200	0,9600	1,0000	1,5933E-01	2,1527E-06	1
BE2	0,7216	0,8012	0,8809	3,5824E-02	4,8403E-07	6
BE3	0,4246	0,5343	0,6440	6,3402E-03	8,5664E-08	17
BE4	0,2397	0,3300	0,4203	1,2196E-03	1,6479E-08	22
BE5	0,2478	0,3412	0,4345	1,3633E-03	1,842E-08	21
BE6	0,4016	0,4998	0,5979	4,9918E-03	6,7446E-08	18
BE7	0,1337	0,2015	0,2693	2,2860E-04	3,0886E-09	23
BE8	0,4682	0,5810	0,6938	8,6398E-03	1,1673E-07	14
BE9	0,4720	0,5736	0,6751	8,2311E-03	1,1121E-07	15
BE10	0,3788	0,4825	0,5861	4,4111E-03	5,96E-08	19
BE11	0,7817	0,8488	0,9160	5,0755E-02	6,8576E-07	3
BE12	0,9081	0,9503	0,9925	1,3788E-01	1,863E-06	2
BE13	0,6901	0,7750	0,8600	2,9957E-02	4,0476E-07	7
BE14	0,5602	0,6406	0,7210	1,2652E-02	1,7094E-07	10
BE15	0,5047	0,6083	0,7119	1,0305E-02	1,3924E-07	13
BE16	0,7542	0,8260	0,8979	4,2751E-02	5,7763E-07	4
BE17	0,5385	0,6376	0,7367	1,2416E-02	1,6775E-07	11
BE18	0,6690	0,7586	0,8483	2,6862E-02	3,6294E-07	8
BE19	0,6253	0,7227	0,8201	2,1283E-02	2,8757E-07	9
BE20	0,0350	0,0850	0,1350	8,3056E-06	1,1222E-10	25
BE21	0,5289	0,6181	0,7073	1,0972E-02	1,4824E-07	12
BE22	0,4814	0,5648	0,6481	7,7689E-03	1,0497E-07	16
BE23	0,0602	0,1196	0,1789	3,3369E-05	4,5086E-10	24
BE24	0,7323	0,8042	0,8760	3,6573E-02	4,9415E-07	5
BE25	0,0258	0,0732	0,1206	4,3295E-06	5,8497E-11	26
BE26	0,2709	0,3690	0,4671	1,7714E-03	2,3933E-08	20
BE27	0,0079	0,0501	0,0923	7,3120E-07	9,8795E-12	27

Minimum kesme setleri tepe olayının (makine dairesi yangınları) meydana gelmesinde etkili olan en küçük hata ağacı gurubudur. Makine dairesi yangın kazaları için en önemli MCS değerleri ‘‘Kesim setinin önemi’’ (Cut sets importance CS-I) değerlerinin hesaplanması ile ölçülebilir. Tepe olayın meydana gelmesinde en etkili olan 20 minimum

kesme setine ait kesim setinin önemi (CS-I) değerleri sırasıyla hesaplanmıştır (Tablo 24). CS-I değerlerinin önem sırası tabloda gösterildiği şekildedir. Bu MCS değerleri gemi makine dairelerine ait en önemli uygunsuzluklardır. Yapılan hesaplamalar sonucunda makine dairesi yangın kazasının gerçekleşmesi için en yüksek ihtimale sahip olan kesim seti BE12-BE1 (Ana makine egzoz sistemi, yakıt kaçağı) kök nedenlerinin birleşimi ile meydana gelmektedir.

Tablo 24. Minimum kesme setleri CS-I değerleri

Kesme Kümeleri	Temel Olaylar	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	CS-I measure Index	Sıra
CS1	BE1-BE12	2,19684E+04	2,96821E-01	1
CS2	BE1-BE11	8,08659E+03	1,09260E-01	2
CS3	BE1-BE16	6,81135E+03	9,20302E-02	3
CS4	BE1-BE24	5,82703E+03	7,87308E-02	4
CS5	BE2-BE12	4,93952E+03	6,67394E-02	5
CS6	BE1-BE13	4,77293E+03	6,44885E-02	6
CS7	BE1-BE18	4,27982E+03	5,78259E-02	7
CS8	BE1-BE19	3,39094E+03	4,58160E-02	8
CS9	BE1-BE14	2,01579E+03	2,72360E-02	9
CS10	BE1-BE17	1,97819E+03	2,67280E-02	10
CS11	BE2-BE11	1,81825E+03	2,45669E-02	11
CS12	BE1-BE21	1,74813E+03	2,36195E-02	12
CS13	BE1-BE15	1,64185E+03	2,21836E-02	13
CS14	BE2-BE16	1,53151E+03	2,06927E-02	14
CS15	BE2-BE24	1,31019E+03	1,77024E-02	15
CS16	BE1- BE22	1,23780E+03	1,67244E-02	16
CS17	BE8-BE12	1,19131E+03	1,60961E-02	17
CS18	BE9- BE12	1,13492E+03	1,53342E-02	18
CS19	BE2-BE13	1,07318E+03	1,45001E-02	19
CS20	BE2-BE18	9,62304E+02	1,30020E-02	20

4. İRDELEME VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada gemi makine dairelerinde yangın/ patlama kazalarına neden olan 283 faktörün (görülme frekansı 507) HFACS ana yapısı altında sınıflandırılması yapılmıştır. Bu faktörlerin HFACS ana seviyelerine göre görülme sıklıkları sırasıyla; operasyonel koşullar %19,53, emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar %17,75, emniyetsiz eylemler %14,80 ve emniyetsiz denetim %13,81 hesaplanmıştır (Şekil 17). Elde edilen sonuçlar, Baysari vd., (2008); Schröder-Hinrichs vd., (2011) de tarafından yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında kurumsal etkiler ve emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullar seviyeleri için benzer sonuçlar içerdiği görülmüştür. Sistem emniyetinin dayandığı en önemli unsurlardan biri olan kurumsal etkiler seviyesi için öne çıkan alt çatılar sırasıyla; ekipman ve tesis kaynakları (62 adet), personel atama (43 adet), eğitim ve aşinalık (27 adet) ve kontrol ve gözden geçirmedir (22 adet). Ekipman ve tesis kaynakları alt çatısında yer alan en önemli uygunsuzluk izolasyon eksikliğidir (34 kaza). İzolasyon eksikliği kaynaklı makine dairesi yangınlarının çoğunlukla ana makine yüzeyleri, yardımcı makine yüzeyleri ve yakıt sistemleri kaynaklı olduğu görülmüştür (Tablo 11). Gemilerde kullanılan yakıtların birçoğu 250°C'nin üzerindeki sıcaklıklara sahip yüzeylere temas ettiğinde kendiliğinden tutuşabilir özelliindedir. SOLAS II-2 Kural 4'ün gerekliliklerine göre 220°C'nin üzerindeki tüm yüzeylerin koruma kalkanları ile kaplanmasını veya yalıtılmasını gerektirir. Bu çalışma sonuçları ticaret gemilerinde SOLAS II-2 izolasyon gerekliliklerinin ihlal edildiğini ortaya koymuştur. Bu çatı altında diğer önemli uygunsuzluk ise 22 adet görülme sıklığıyla ergonomik dizayn kusurudur. Kwiecińska, (2015) dizayn kusurunun ve ekipman kaynaklı uygunsuzlukların yangın kazalarının oluşmasında önemli bir etkiye sahip olduğuna vurgu yapmaktadır. Ana makine yakıt pompa ünitesi, yardımcı makine yakıt devre bağlantıları, termal oil ve kazan sistemlerinin hatalı/uygunsuz tasarımı en sık rastlanılan ergonomik dizayn kusurlarıdır. Birçok kaza raporunda yağ/yakıt devrelerinin doğrudan sıcak yüzeye (D/G, T/G vb.) veya ısı kaynağına yönlendirilecek şekilde tasarlanması sonucu devrede oluşan sızıntının yangına sebebiyet verdiğine yer verilmiştir. Personel atama alt çatısında 15 adet görülme frekansı ile öne çıkan faktör bulunduğu görev ile uygunsuz Baş Mühendis olmuştur. Baş Mühendis makine sistem ve ekipmanların tüm işlemlerinin, rutin bakım-tutumunun ve tamirinin üreticinin

öngördüğü programa uygun olarak (SMS dahilinde) yapılmasından ve aynı zamanda makine ekibinin uygun şekilde yönlendirilmesinden sorumludur. Baş Mühendisin göreve uygun olmaması sorumluluğu altında bulunan personelin hatalı yönlendirilmesine ve makine dairesinde yürütülen işlerin hatalı, eksik veya özensiz yapılmasına neden olur. Ayrıca birçok kaza raporunda makine ekibi arasındaki iletişim ve koordinasyon kopukluğuna neden olduğuna vurgu yapılmaktadır. Etkili bir liderlik tarzının deniz emniyeti için önemi Sætrevik ve Hystad, (2017) tarafından yapılan çalışmada da açıkça ifade edilmiştir. İnsan kaynakları tabanlı uygunsuzlukların nedeni bulunduğu rütbenin gerekliliklerini karşılamayan personel ataması, personel eğitim programının yetersiz ve etkisiz olması, gemiye özel olan sistemlerin etkili şekilde tanıtılmaması olarak ifade edilebilir.

HFACS gizli kusurların 2. seviyesi olan emniyetsiz denetim seviyesi için öne çıkan uygunsuzluklar yetersiz denetim alt çatısında iç denetim eksikliği (26 adet) ve planlı bakım eksikliğidir (16 adet) (Tablo 12). Her iki alt çatı makine ve ekipmanlarının rutin bakım ve kontrollerinin SMS gerekliliklerine göre yürütülmesini ifade eder. Ana makine yakıt devreleri ve ekipmanları ile D/G yakıt devreleri ve ekipmanlarının bakım-tutumu öne çıkan uygunsuzluklardır. Zamanında ve etkili yapılmayan bakım-tutum ve denetimler yük altında kalan ekipmanın zaman içinde yorulmasına ve arızalanmasına sebep olur. Puisa ve arkadaşları, (2018) Le Boreal yolcu gemisinin makine dairesinde meydana gelen yangın kazasını incelemiş ve rutin bakım-tutum işlemleri ile yetersiz/uygunsuz izolasyonun yangının oluşmasında en önemli faktörler olduğunu tespit etmişlerdir. Gemilerde yapılacak olan operasyonların doğru ve güvenli bir şekilde yürütülmesinde en önemli etken emniyetli yönetim sistemi gereklerine uyulmasıdır. Bu çalışmada uygunsuz planlanan operasyonlar alt çatısında sıcak çalışmanın planlaması ile ilgili yangın oluşumuna katkı sağlayan önemli uygunsuzluklar tespit edilmiştir. Sıcak iş alanının tanımlanmaması, temizlenmemesi, gözcü atanmaması, sıcak iş sırasında gözcü görev yeri değişikliği ve uygunsuz alanda kıvılcım çıkaran taşlama motorunun kullanımını en sık karşılaşılan sıcak çalışma ile ilişkili uygunsuzluklardır. Sıcak iş esnasında gözden kaçan tek bir uygunsuzluk diğer uygunsuzluklarla birleştiğinde kaza oluşumları kaçınılmaz bir hal alır. Baalisampang ve arkadaşları, (2018) yaptıkları çalışmada yangın ve/veya patlamaya neden olan insan hataların genellikle bakım faaliyetlerinde ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada

bakım faaliyetlerinde özellikle sıcak çalışma esnasında yangın oluşumlarının sık yaşandığı görülmüştür.

HFACS gizli kusurları oluşturan son seviye emniyetsiz eylemleri hazırlayan ön koşullardır. Bu seviyede öne çıkan uygunsuzluklar durumsal farkındalık eksikliği, iletişim eksikliği ve yönetim faaliyetleridir. Olumsuz zihinsel durum alt çatısı altında bulunan durumsal farkındalık eksikliği, makine ekibinin içinde bulunduğu mevcut durum, gelişen koşullar ve çevresel unsurların farkında olmaması durumunu ifade etmektedir. Bu çalışmada yangın/patlama kazalarının 30 adedinde (%61,2) durumsal farkındalık eksikliği görülmüştür (Tablo 13). Gruenefeld ve arkadaşları, (2018) yaptıkları çalışmada son on yılda, insan hatasının hala azaltılmadığını ve durumsal farkındalık eksikliğinin, insan hatasından kaynaklanan çoğu kazada hakim olduğunu tespit etmişlerdir. Birçok kaza raporunda, durumsal farkındalık eksikliğinin yanlış kararlara yol açarak kazalara neden olduğunu vurgulamışlardır. Takım üyelerinin standart altı uygulamaları alt çatısında yer alan uygunsuz yönetim faaliyetleri 23 adet görülme sıklığı ile öne çıkmaktadır. Uygunsuz yönetim faaliyetleri, gevşek takım yönetimi, Baş Mühendis otorite eksikliği ve yönlendirme hatası, acil durumların yönetimindeki başarısızlık gibi uygunsuzlukları içerir. Bu alt çatı altında dikkat çeken diğer önemli uygunsuzluk 12 adet kazada yer almasıyla iç-dış iletişim eksikliğidir. Etkili bir gemi (ekip içi ve ekipler arası) iletişimi; durumsal farkındalığın iyileştirilmesi, makine ekibinin görevleri ve çalışma alanındaki kaza riskleri hakkında bilinçlendirilmesi ile mümkündür. Gemilerin emniyetli seyri hem köprü üstü hem de makine ekibi arasındaki etkili bir ekip çalışmasıyla gerçekleştirilebilir. Örneğin, Arco Avon gemisinin makine dairesinde meydana gelen yakıt kaçağını fark eden 3. Mühendis yakıt kaçağını kimseye bildirmeden durdurmaya çalışmıştır. Tek başına yaptığı hatalı müdahale sonucu yangın meydana gelmiş ve 3. Mühendis tulumunun tutuşmasıyla hayatını kaybetmiştir (MAIB, 2016). Ekip üyeleri arasında etkili iletişimi sağlamakta ekip liderinin (Başmühendis) rolü oldukça önemlidir (Sætrevik ve Hystad, 2017). Ekip üyeleri arasındaki ilişkinin etkin olması ve ekip üyelerinin görülen uygunsuzlukları raporlaması ekip liderinin tutumu ve motivesi ile doğru orantılı olacaktır.

HFACS'ın son seviyesi olan emniyetsiz eylemler, gizli kusurların birbirleriyle etkileşime girmesi sonucunda ortaya çıkan ve kazanın oluşmasında etken olan aktif kusurlardır. Aktif kusurlar hatalar ve ihlallerden oluşmaktadır. Hatalar istenmeyen davranışlardır, ihlaller ise kurallar ve düzenlemelerin bilinçli bir şekilde göz ardı

edilmesidir. Bu çalışmanın odağında ana makine, yardımcı makineler ve onlara bağlı sistemler ile ilgili yapılan uygunsuz eylemler bulunmaktadır. Emniyetsiz eylemler çatısı altında ilk olarak değerlendirilen alt çatı beceri hatalarıdır ve bu çatıya ait 32 adet uygunsuzluk görülmüştür. Bunlar ana makine, yardımcı makineler ve yakıt sistemleriyle ilgili işletim hatalarını içermektedir. Ana makinenin işletiminde en sık yapılan beceri hataları yakıt devresi ve bağlantılı elemanlara ait civata/somun/tapaların uygun torkla sıkılmaması (7 kaza), yakıt devresi ve elemanlarının hatalı bağlantısı (2 kaza) olarak tespit edilmiştir (Tablo 14). Kang, (2017) yaptığı çalışmada nedensel faktörlerin seviyeler arasındaki ilişkilerini incelemiş ve HFACS analizinden ortaya çıkan en belirgin bulgunun, tüm aktif kusurların oluşmasında gizli kusurların etkili olduğunu ifade etmiştir. Beceri temelli hataların çoğu durumda yetersiz denetimin ve yetersiz organizasyonel işlemlerden kaynaklı olduğu bulunmuş ve elde edilen sonuçlar geçmişte yapılan benzer çalışmalarla kıyaslandığında bu çalışmaya paralel olduğu görülmüştür (Baalisampang, 2018). Karar bazlı hatalar makine ekibinin ana makine, yardımcı makine ve sistemleriyle ilgili operasyonel durumlarda geç yanıt vermesi, yakıt kaçağına yanlış müdahalede bulunması ve kararsızlık gibi hatalarından oluşmaktadır. Karşılaşılan olumsuz olay karşısında hatalı davranılması veya gereken doğru hareketin zamanında yapılmaması olarak ifade edilebilir. Bu çatı altında yer alan diğer bir kategori ise ihlallerdir ve 27 adet görülme frekansıyla dikkat çekmektedir. En çok karşılaşılan prosedür ihlalleri; sıcak çalışma, yakıt değişimi ve planlı bakımla ilgili olanlardır. Sıcak çalışmasının yapılması emniyetsiz bir eyleme sebebiyet vermez ancak sıcak çalışma ile birlikte emniyetsiz eylem (yağdan ve yakıttan temizlenmemiş alanda sıcak çalışma yapmak) birleştiği zaman kazanın gerçekleşmesi kaçınılmaz olur. Bu prosedürlerin verimli şekilde uygulanması, gereklilikleri ve öneminin anlaşılması ancak şirket ve bayrak devleti tarafından uygun görülen şekilde eğitimlerin verilmesi ile mümkündür. Uğurlu (2016), tehlikeli atık yükleri taşıyan tankerlerde 1999 ve 2013 yılları arasında meydana gelen yangın ve patlama kazalarını araştırdığı çalışmasında benzer sonuçlar elde etmiştir.

Papanikolaou ve Eliopoulou, (2008) yaptıkları çalışmaya benzer olarak bu çalışmada da yangın/patlama kazalarının %71,43'ünün (35 adet) 20 yaş üstü eski tekne yapısına sahip gemilerde gerçekleşmiş olması gemi yaşı arttıkça yangın riskinin arttığını göstermiştir. Gemi yaşıyla yangın riskinin paralellik göstermesi, gemilerde zamanla mekanik aksamların

yük altında yorulması, yapısal yıpranmaya uğraması ve yakıt sistemlerinin deforme olmasının sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

HFACS emniyetsiz eylemler seviyesinde gerçekleşen uygunsuzlular sonucu ortaya çıkan koşullar ve gerçekleşme nedenleri arasındaki ilişki FFTA ile incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Emniyetsiz eylemler sonucu ortaya çıkan yakıt kaçağı, yağ sızıntısı, kirli ve yağlı yüzeyler, ısıya dayanıksız malzeme kullanımı ve gaz buharı gibi koşulların yangın/patlama kazalarının oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Kazaların meydana gelmesinde etken olan faktörlerin (emniyetsiz eylemlerin sonuçları) tamamen ortadan kaldırılması her durumda mümkün değildir. Fakat her sistemde bazı önlemler alarak kazaların gerçekleşme riski en aza indirgenebilir. Bunu gerçekleştirmenin en etkili yolu, tepe olayın kök nedenlerini belirlemek ve kök nedenleri teknik ve ekonomik yönden mümkün olduğunca ortadan kaldırmaktır. FFTA yöntemi kazaların önlenmesi ile ilgili risk yönetimi ve karar alma için etkin yardım sağlar. FFTA metodu ile koşullar arasındaki etkileşim ve muhtemel kaza oluşum senaryoları incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda makine dairesi yangınlarının meydana gelmesinde etkili olan 27 adet kök olay ve bu kök olaylarının oluşturduğu önemli olasılık değerlerine sahip MCs'ler tespit edilmiştir (Tablo 16, 23). Yapılan nitel analizle BE1, yakıt kaçağının %63,27 görülme ve 1,5933E-01 bulanık olasılık değeri ile en yüksek gerçekleşme oranına sahip, sistemin en kritik temel olayı olduğu görülmüştür. En yüksek olasılık değeri 2,19684E+04'e sahip olan MCs BE12-BE1 kök olaylarının birleşmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu nedenle en yüksek olasılığa sahip kaza senaryosu yakıt kaçağı (BE1) ve ana makine egzoz sistemi sıcak yüzeyi (BE12) kök olayları bir araya geldiğinde gerçekleşmiştir. Ocean Star Pacific gemisine ait yangın/patlama kaza raporunda yakıt kaçağının sıcak yüzeyle (yetersiz izolasyon nedeniyle) teması sonucu oluşan yangınların yüksek bir değeri temsil ettiği görülmektedir (PMA, 2011). Benzer şekilde, 13 Temmuz 2014'te, dökme yük gemisi Marigold, Batı Avustralya'nın Port Hedland limanında demir cevheri yükleme operasyonu esnasında, yakıt devresi arızası nedeniyle meydana gelen yakıt kaçağı jeneratörün sıcak yüzeyi ile birleşmiş ve yangın kazasına yol açmıştır. Arıza nedeni orijinal olmayan yedek parça kullanımı olarak tespit edilmiştir (orginal manometre bağlantı borusu yerine aynı ebatta farklı bağlantı borusu kullanılmıştır) (ATSB, 2016). Bu durumun literatürde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında uyumlu olduğu görülmüştür. Paula vd., (1998) ve Baalisampang vd., (2018) deniz kazalarını araştırmışlar ve sonucunda, çoğu durumda

yangının makine dairesinde gerçekleştiğini ve sıcak yüzeylerle temas eden yağ veya yakıt sızıntısından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. (Baalisampang vd., 2018; Paula vd., 1998).

Det Norske Veritas (DNV) klas kuruluşu, 1992-1997 yılları arasında filosunda gerçekleşmiş 165 adet yangın/patlama kazasını incelemiştir. Yangın kazalarının %63'ünün makine dairesinde meydana geldiğini belirtmiştir. Makine dairesinde gerçekleşen yangın kazalarının ise %56'sının yakıt/yağ sızıntısı ile sıcak yüzey kombinasyonundan kaynaklandığını ortaya koymuştur (Det Norske Veritas, 2000). Çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde; ana makine sıcak yüzeyi (BE11), jeneratör egzoz sistemi (BE16), sıcak çalışma (BE24), yağ sızıntısının (BE2) dikkat çeken diğer kök olaylar olduğu tespit edilmiştir (Tablo 23). Makine dairesi yangınlarında en önemli gerçekleşme olasılığa sahip MCs'ler (kaza senaryoları) incelenmiştir. Bu MCs'lerin (kesme kümeleri) CS2 (BE11-BE1) ana makine turbo sarjer ve yakıt kaçağı, CS3 (BE16-BE1) jeneratör egzoz sistemi ve yakıt kaçağı, CS4 (BE24-BE1) sıcak çalışma ve yakıt kaçağı, CS5 (BE12-BE2) ana makine sıcak yüzey ve yağ sızıntısı, CS6 (BE13-BE1) ana makine T/C ve yakıt kaçağı olduğu görülmüştür (Tablo 24). Gelecekte makine dairesinde oluşabilecek yangın/patlama kaza riskini azaltabilmek için MCS'leri meydana getiren temel olayları analiz etmek oldukça büyük bir öneme sahiptir. Birçok kaza raporunda yakıt/yağ sızıntısına neden olan faktörlerin mekanik ekipmana verilen hasar veya uygunsuz şekilde seçilen malzeme olduğu görülmüştür. Örneğin; bakım-tutum veya tamir işlerinde kullanılan malzemenin orjinal olmaması, alet veya makinelerin uygunsuz kullanımı, bakım çalışmalarının ihmali ve emniyet kurallarına uyulmaması gibi. İncelenen kaza raporlarının birçoğunda yağ/yakıt kaçağı kaynaklarının esnek hortumlar, kaplinler, tıkalı filtreler ve kırılmış borular arasında rastgele dağıldığı görülmüştür. Bu durum DNV tarafından yayınlanan emniyet bülteniyle de paralellik göstermiştir (Det Norske Veritas, 2000). Temel olayların görülmesinde etken olan ve emniyet kültürünün daha az fark edilen diğer yönleri ise bakır pullar gibi sızdırmazlık malzemelerinin tekrar kullanılması, yakıt pompası civataları gibi çeşitli makine bileşenleri için gerekli sıkma torkunun ihmal edilmesi, yüksek basınç bağlantıları ve daha fazlasını içermektedir. DNV, Yangın Güvenliği Bilinci Geliştirme raporu da çalışmayı bu yönüyle desteklemektedir (Det Norske Veritas, 2016).

Özellikle makine dairesi yangınları kapalı bir alanda gerçekleşmesi, yangınla mücadele imkanlarının kısıtlı olması ve en önemlisi geminin yürütücü ekipman ve

sistemlerini içinde bulundurması nedeniyle büyük önem arz etmektedir. Makine dairesi yangın kazalarının oluşumunu anlamak gelecekte oluşacak benzer kazaların önüne geçmek ve yangın sonrası oluşabilecek diğer kazaları (çatışma/çatma, karaya oturma gibi) önlemek için gereklidir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deniz taşımacılığı ucuz taşıma maliyetine sahip olmasının yanı sıra emniyetli ve çevre dostu olması nedeniyle ulaşım ve taşımacılık türleri arasında öne çıkar. Sahip olduğu avantajlara rağmen deniz taşımacılığı; yüke, deniz çevresine, gemi bünyesine ve insan hayatına zarar verebilecek büyük ölçüde deniz kazalarına neden olabilir. Gemi yangınları genellikle ciddi miktarda maddi kayıp ve insan hayatının kaybedilmesine neden olan, sık karşılaşılan kaza türlerinden biri olarak dikkat çekmektedir. Literatürdeki birçok çalışmada gemi yangınları içerisinde makine dairesi kaynaklı yangınlara çok sık karşılaşıldığına vurgu yapılmaktadır (Schröder-Hinrichs, 2011; Söner, 2015; Uğurlu, 2016; Zong vd., 2017; Baalisampang vd., 2018). Deniz kazalarına ilişkin çalışmalar, yangın/patlama kazalarının ana ve yardımcı makine sistemlerinde yoğunlaştığını göstermiştir. Bu nedenle bu çalışmada HFACS yapısı ile makine dairesi yangınlarının nedenleri detaylandırılmaya çalışılmış, FFTA uygulaması ile kazaların oluşum örgüsü ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen önemli sonuçlar ve gelecekte oluşabilecek benzer kazaların önüne geçmek için belirlenen öneriler aşağıda sunulmuştur;

- Bu çalışmada HFACS ana çatısına bağlı oluşturulmuş FFTA ile yangın/patlama kazaları için kaza oluşum şeması ortaya konmuştur. Bu aynı zamanda nedenler arasındaki ilişkiyi de ortaya koyar. Böylelikle kazaların etkileşim içerisinde nasıl oluştuğu anlaşılmaktadır. Çalışmada kullanılan metotlar sonucunda elde edilen uygunsuzluklar kaza soruşturmacıları tarafından makine dairesi yangınları sonrasında yürütülecek soruşturmada kazanın oluşumunu anlayabilmek için rehber niteliğinde kullanılabilir.
- Bu çalışma yangın/patlama kazalarının eski inşa, 20 yaş üstü gemilerde yoğunlaştığını ve ana makine, yardımcı makine ve bağlı olan sistemlerdeki mekanik yorulma kavramı arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Eski inşa gemilerde zamanla mekanik aksamların yük altında yorulması, yapısal yıpranmaya uğraması, yakıt devre ve sistemlerinin deforme olması kaçınılmaz bir durumdur. Firmalar tarafından oluşturulan PMS'lerde malzemelerin uzun ömürlü ve daha verimli kullanılabilmesi amaçlanır. Gemi makine ekipmanlarına zamanında (planlı bakım sistemi gereksinimlerine uygun) ve etkili yapılan bakım-tutum işlemleri ile bu olası uygunsuzlukların önüne geçilebilir. Bu nedenle planlı bakım sistemi ve gerekliliklerinin gemi personeline göz ardı edilmesini önleyici politikalar belirlenmesi gerekir.

- Günümüzde egzoz emisyon sistemleri, balast suyu arıtma ekipmanları gibi çevre dostu yeni uygulamalar yürürlüğe konulmaktadır. Bu yenilikçi uygulamalar beraberinde yeni regülasyonlar getirir. Bu regülasyonlarda çoğu zaman eski gemilere bir takım düzenleme ve muafiyetler verilmektedir. Bu muafiyet ve düzenlemeler ile bu gemilerin seyrine devam etme imkanı sağlanır. Yeni kanunların gerekliliğini sağlamak ve adaptasyon için değiştirilen sistem ya da takılan yeni parçalar eski gemilerde çoğu zaman sağlıklı çalışmamaktadır. Ayrıca uyumsuz olan ve bazı durumlarda orijinal makine üreticileri tarafından üretilmeyen bu ekipmanlar kaza ve arıza risklerini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle armatörlere uygun teşvikler sağlanarak mevcut gemilerini çevreci teknolojilere sahip yeni gemilerle değiştirmelerine olanak sağlayacak uluslararası denizcilik politikalarının benimsenmesi ve belirli bir yaşın üzerindeki eski gemilerin seyirden muaf edilmeleri gerekir.
- Nitelsiz gemi adamı donatımı ve eğitim aşinalık eksikliği yangın/patlama kazaların temelinde yatan en önemli uygunsuzluklar olarak bulunmuştur. Teknolojinin günden güne gelişmesiyle modernleşen makine daireleri her ne kadar insansız olarak donatılmaya yönelik olarak tasarlansada günümüzde makine dairelerinin barındırdığı sistemler nitelikli makine mühendislerine ve personele ihtiyaç duyar. Nitelsiz ve gemiye özgü sistemlere aşinalığı olmayan makine ekibiyle emniyetli makine dairesinden bahsetmek mümkün değildir. Uygunsuz personel donatımı kategorisinde en çok karşılaşılan uygunsuzluk bulunduğu rütbe ile uyumsuz (yetersiz) Baş Mühendis olarak tespit edilmiştir. Baş Mühendis temsil ettiği rütbe nedeniyle çok sayıda sorumluluğa sahiptir. Bu nedenle gemiye atanacak olan başmühendisin gemiye gönderilmeden önce temsil edeceği rütbe ile uyumunun değerlendirilmesi hassas bir konudur. Bu çalışma sonucunda şirketlerin Baş Mühendis donatımı yaparken ekipmanın doğru kullanımı, ekipman uyumu (malzeme), operasyon yönetimi, planlı bakım ve risk analizi kavramlarını göz önünde bulundurmaları gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca her Baş Mühendisin geminin kendine özgü sistemleri iyi tanınmasına olanak sağlayacak eğitim politikalarının geliştirilmesi gerekir.
- Kurumsal etkiler çatısı altında dikkat çeken bir diğer uygunsuzluk izolasyon eksikliğidir. Bir gemide özellikle makine dairesinde en önemli unsurların başında izolasyon gelir. Mümkün olduğunca makine ekipman ve donanımların yangına dayanıklı olması ve koruma ile donatılması gerekir. Yangını oluşturan iki etkenden yanıcı ve yakıcı maddeleri birbirinden ayırtmak ve uzak tutmak için doğru ve devamlı izolasyon şüphesiz oldukça

önemlidir. Makine donanımları üzerinde yer alan izolasyon malzemeleri zamanla deforme olur (bakım, tamir, overhoul gibi nedenler dolayısıyla). Çoğunlukla tekrar kullanmak için uygun olmayabilir. Çoğu gemide yedek izolasyon malzemesi bulunmaması nedeniyle gemilerde izolasyonun sürekliliği sağlanamaz. Bu nedenle gemi makine dairelerinde izolasyon sürekliliğini sağlayacak politikalar geliştirilmesi gerekir. İdareler izolasyon gereksinimlerini SOLAS II-2 gereklerine uygun olarak gerçekleştirirse izolasyon kaynaklı yangın/patlama kazalarını önlemek mümkün hale gelir.

- Makine dairesi yangınlarının oluşmasında etkili olan bir başka uygunsuzluk da ana makine, yardımcı makineler ve bağlı sistemlerin oluşturduğu sıcak yüzeylerdir. Özellikle gemi hareket halindeyken makinelerin çalışmasına bağlı olarak artan bu sıcak yüzeylerin yağ/yakıt kaçaqlarıyla birleşmesi durumunda yangının oluşması kaçınılmaz bir hal alır. Makine dairelerinin tasarımı nedeniyle içinde bulundurduğu ekipman ve donanımların konumu her zaman gözlemlene ve takip için uygun değildir. Bu nedenle kara tesislerinde birçok alanda sıcak yüzeylerin ölçümü ve takibi için kullanılan kızılötesi termometre ve kızılötesi kameraların (ölçüm aralığı ise -50 ile 1000 °C) gemi makine dairelerinde de kullanımı sağlanmalıdır. Böylece makine dairelerinde sıcak yüzeylerin fazla olduğu, alanın kısıtlı olduğu yerlerde bu termometre ve kameralar kullanılarak bu alanlara ait sıcaklık değerlerinin düzenli kontrolü ve takibi sağlanabilir.

- Yakıt kaçağı ve yağ sızıntısının oluşumu için makine dairesinde çok fazla kaynak mevcuttur. Yağ/yakıt sızıntısına neden olan faktörlerin esnek hortumlar, kaplinler, kırılmış borular ve kırılmış saplamalar, aşınmış contalar arasında rastgele dağıldığı tespit edilmiştir. Gerçekleşen kazaların büyük çoğunluğunda bakım-tutum, tamir işlerinde kullanılan malzemelerin orijinal olmadığı görülmüştür. Üretici kılavuzunda belirtilen özellikle sahip olmayan bu malzemeler (cıvata, somun, pompa diyaframı o-ring, yakıt devresinde kullanılan bakır borular vb.) makine titreşimleri, yük, sıcak yakıt ve yağ ile temasta daha kolay deforme olmaktadır. Isıya ve kimyasallara dayanıksız bu malzemeler zaman içinde aşınma, kırılma ve parçalanma gibi mekanik bozulmalara uğrayarak yakıt kaçağı veya yağ sızıntısına sebep vererek yangının oluşmasına zemin hazırlar. Bunu önlemek için işletmeciler şirketler yedek malzeme alımında azami dikkat göstermeli ve maddi hesaplamaları bu yönde yapmalıdır. Denetlemeler sonucunda bakım-tutum işlemlerinde yetersiz görülen işletmeler ve armatörlere idare tarafından onay verilmiş profesyonel teknik ekip tarafından denetlenme zorunluluğu getirilmesi makine dairesi yangınlarını önlemeye yönelik bir politika olabilir.

Bir kazanın doğru analizi ve değerlendirilmesi gelecekte benzer kazaların önüne geçmek için oldukça önemlidir. Kazalar tek bir olayın sonucu gibi görünse de doğru incelemeyle aslında bir olaylar dizisi olduğu görülür. Bu nedenle kazanın analizi gerçekleştiği ortam ve koşullar dikkate alınarak yapılmalıdır. Unutmamalıdır ki yangın/patlama kazaları büyük felaketlere neden olabilir.



6. KAYNAKLAR

- Abbassi, R., Khan, F., Khakzad, N., Veitch, B. ve Ehlers, S., 2017. Risk Analysis of Offshore Transportation Accident in Arctic Waters, International Journal of Maritime Engineering, 159, 213–224.
- ABS, 2005. Guidance Notes on the Investigation of Marine Incidents, American Bureau of Shipping, 1-600.
- AGCS, Allianz Global Corporate & Speciality, Safety and Shipping Review 2018. <https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/reports/AGCS-Safety-Shipping-Review-2018.pdf>, 21 Ocak 2019.
- AGCS, Allianz Global Corporate & Specialty, Safety and Shipping Review 2019. <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html.03> Eylül 2019.
- Akıllı, A. ve Atıl, H., 2014. Süt Sığırcılığında Yapay Zekâ Teknolojisi: Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları. Hayvansal Üretim, 55, 1, 39-45.
- Akten, N., 2004. Analysis of Shipping Casualties in the Bosphorus. Journal of Navigation, 57, 3, 345–356.
- Akten, N., 2006. Shipping Accidents: A Serious Threat for Marineenvironment, Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 12, 3, 269-304.
- Aliabadi M. M., Aghaei H., Kalatpour O., Soltanian A. R. ve Nikravesh A., 2018. Analysis of Human and Organizational Factors that Influence Mining Accidents Based on Bayesian Network, International Journal of Occupational Safety an Ergonomics, 1-8.
- Alkan, Ö., 2011. Zamanla Değişen Sistemlerin Bulanık Model Referans Adaptif Kontrolü, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Antao, P. ve Soares, C. G., 2006. Fault-tree Models of Accident Scenarios of Ropax Vessels, International Journal of Automation and Computing, 3, 2, 107-116.
- Apostol-Mates, R. ve Barbu, A., 2016. Human Error-The Main Factor in Marine Accidents “Mircea cel Batran” Naval Academy Scientific Bulletin, 19, 2, 451- 454.
- Arnold, R., 2009. A Qualitative Comparative Analysis of SOAM and STAMP in ATM Occurrence Investigation, Master's Thesis, Lund University, Human Factors & System Safety, Sweden.
- Arslan, O. ve Er, I. D., 2008. SWOT Analysis for Safer Carriage of Bulk Liquid Chemicals in Tankers, Journal of Hazardous Materials, 154, 1, 901-913.

- Arslan, O. ve Turan, O., 2009. Analytical Investigation of Marine Casualties at the Strait of Istanbul with SWOT–AHP Method, Maritime Policy & Management, 36, 2, 131-145.
- ATSB, Australian Transport Safety Bureau, Report No, 283-MO-2011-001 Qian Chi - Marine Casulty. <https://www.atsb.gov.au>. 24 Aralık 2017.
- ATSB, Australian Transport Safety Bureau, Report Report No, 312-MO-2014-008, Marigold - Marine Casulty. <https://www.atsb.gov.au>. 25 Aralık 2017.
- ATSB, Australian Transport Safety Bureau https://www.atsb.gov.au/about_atSB/overview/. 03 Ocak 2019.
- Ayyub, M. B., 2003. Risk Analysis in Engineering and Economics, Chapman and Hall/ CRC, New York, 72-80.
- Azzi, C., Pennycott, A., Mermiris, G. ve Vassalos, D., 2011. Evacuation Simulation of Shipboard Fire Scenarios, Fire and Evacuation Modeling Technical Conference, Baltimore.
- Baalisampang, T., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F. ve Dadashzadeh, M., 2018. Review and Analysis of Fire and Explosion Accidents in Maritime Transportation, Ocean Engineering, 158,350-366
- Baber, E., 2007. İnsan Faktörü Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ve Kara Havacılık Kazalarına Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara/Türkiye.
- Baker, C. ve McCafferty, D., 2005. Accident Database Review of Human Element Concerns, What do the Results Mean for Classification?, Presented at the Human Factors in Ship Design, Safety and Operation held in London.
- Baron, J.J., 1993. Putting Fuzzy Logic into Focus: When Dealing with Ambiguous Data, Desktop Fuzzy- Logic Applications Deliver Precise Results, Journal BYTE, 18, 4, 111- 118.
- Batalden, B. M. ve Sydnese, A. K., 2014. Maritime Safety and the ISM Code: A Study of Investigated Casualties and Incidents, WMU Journal of Maritime Affairs, 13, 1, 3-25.
- Baykal, N. ve Beyan, T., 2004b. Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitapevi, Ankara.
- Bayram, H., Uğur, A.F. ve Danışman, K., 2002. FPGA (Field Programmable Gate Array) Tabanlı Bulanık Kontrolör Tasarımı ve Bir Uygulama, ELECO.
- Baysari, M. T., McIntosh, A. S. ve Wilson, J. R., 2008. Understanding the Human Factors Contribution to Railway Accidents and Incidents in Australia, Accident Analysis & Prevention, 40, 5, 1-8.

- Beland, B., 1984. Electrical Damages Cause or Consequence? Journal Forensic Science.29, 3,747-761.
- Bih, J., 2006. Paradigm Shift - An Introduction to Fuzzy Logic, Potentials, IEEE, Transactions, 25, 1, 6- 21.
- Bigham, C., Biles, J. H., Gough-Calthorpe, S., Chaston, E. C., Clarke, A. W. ve Lyon, F. C. A., 1912. Loss of the SS Titanic, Wreck Commissioners' Court, 2151.
- BMA, The Bahamas Maritime Authority, Report No EC2N 1AR, Seadream I Marine Casulty <https://www.bahamasmaritime.com>. 27 Aralık 2017.
- BMA, The Bahamas Maritime Authority, <https://www.bahamasmaritime.com/maritime/vessel-registration/registration-department/>. 04 Ocak 2019.
- BSU, Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung, https://www.bsu-bund.de/EN/BSU/Geschichte/Geschichte_node.html. 03 Ocak 2019.
- Butt, N., Johnson, D., Pike, K., Pryce-Roberts, N. ve Vigar, N., 2013. 15 Years of Shipping Accidents: A review for WWF, Southampton Solent University, 1-56.
- Cai, K.Y.; Wen, C. ve Zhang, M., 1991. Fuzzy States as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability in the Possibility Context. Fuzzy Sets and Systems., 42, 6, 17-32.
- Chang, J.I. ve Lin, C.C., 2006. A Study of Storage Tank Accidents, Journal of Loss Prevention In the Process Industries, 19, 1, 51–59.
- Charlebois, P., 2012. History of Key Conventions – IMO Conventions, Paper presented at the Interspill Conference, London/United Kingdom.
- Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P. ve Langard, B., 2013. Human and organisational factors in maritime accidents: analysis of collisions at sea using the HFACS, Accident Analysis & Prevention, 59, 26-37.
- Cheliyan, A.S. ve Bhattacharyya, S.K., 2018. Fuzzy Fault Tree Analysis of Oil and Gas Leakage in Subsea Production System, Journal of Ocean Engineering and Science, 3, 38-48.
- Chen, S. T., Wall, A., Davies, P., Yang, Z. L., Wang, J. ve Chou, Y. H., 2013. A Human and Organisational Factors (HOFs) Analysis Method for Marine Casualties Using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA), Safety Science, 60, 105-114.
- Cintron R., 2015. Human Factors Analysis and Classification System Interrater Reliability for Biopharmaceutical Manufacturing Investigations, Washington, Walden University.
- ClassNK, 2010. Guidelines for the Prevention of Human Error Aboard Ships: Through the Ergonomic Design of Marine Machinery Systems, ClassNK Nippon Kaiji Kyokai, Chiba, 267-260056.

- Çelik, M. ve Er, I., 2007. Identifying the Potential Roles of Design-based Failures on Human Errors in Shipboard Operations, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 1, 3, 339-343.
- Çelik, M. ve Çebi, S., 2009. Analytical HFACS for Investigating Human Errors in Shipping Accidents, Accident Analysis & Prevention, 41, 1, 66-75.
- Çelik, M., Lavasani, S. M. ve Wang, 2010. A Risk-Based Modelling Approach to Enhance Shipping Accident Investigation, Safety Science, 48, 1, 18-27.
- Darbra, R. M. ve Casal, J., 2004. Historical Analysis of Accidents in Seaports, Safety Science, 42, 2, 85-98.
- Demir, İ., 2016. Deniz Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği Üzerine Değerlendirmeler, 22, 3, 879-904.
- Dhillon, B. ve Liu, Y., 2006. Human Error in Maintenance: A Review, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 12, 1, 21–36.
- DIAM, 2019. Departamento de Investigación de Accidentes Marinos [https:// www.fomento.gob.es/maritimo](https://www.fomento.gob.es/maritimo). 05 Ocak 2019.
- DMAIB, [http://www.dmaib.com/Sider/ Aboutus.aspx](http://www.dmaib.com/Sider/Aboutus.aspx) About the DMAIB. 05 Ocak 2019.
- DNV, Det Norske Veritas, Engine Room fires can be avoided 2000, [http:// inframarine.com/sun/wp-content](http://inframarine.com/sun/wp-content). 12 Mart 2019.
- DNV, Det Norske Veritas, Enhancing Fire Safety Awareness Report 2016. [https:// www.dnvgl.com/news/enhancing-fire-safety-awareness-66109](https://www.dnvgl.com/news/enhancing-fire-safety-awareness-66109). 20 Nisan 2019.
- Dönmez, K. ve Uslu, S., 2018. Evaluation of the Widespread Use of Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) in Literature, Journal of Aviation, 2, 2, 156-176.
- Eliopoulou, E. ve Papanikolaou, A., 2007. Casualty Analysis of Large Tankers, Journal of Marine Science and Technology, 12, 4, 240-250.
- EMSA, 2018. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2018, European Maritime Safety Agency, 1-71.
- EMSA, 2019. European Maritime Safety Agency, <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/accident-investigation.html> Accident Investigation. 10 Ocak 2019.
- Ericson, C.A., 1999. Fault tree analysis , A history, 17th International System Safety Conference, August, System Safety Society, 1-9.
- Ericson C.A., 2005. Hazards Analysis Techniques for System Safety, New Jersey: Wiley, 240-278.

- Etman, E. ve Halawa, A., 2007. Safety Culture, the Cure for Human Error: A Critique, IAMU Journal, 115-126.
- Fage, A., Nayler, J. L., Relf, E. F. ve Temple, G., 1965. Leonard Bairstow 1880-1963, Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, 11, 23-40.
- Ferjencik, M., 2011. An Integrated Approach to the Analysis of Incident Causes, Safety Science, 49, 6, 886-905.
- GISIS, Global Intergrated Shipping Information System, 2019. <https://gis.imo.org/Public/Default.aspx>. 06 Ocak 2019.
- Goodman, G.V.R., 1988. An Assessment of Coal Mine Escapeway Reliability Using Fault Tree Analysis, Mining Science and Technology, 7, 2, 205-215.
- Grabowski, M., Merrick, J.R.W., Harrald, J.R., Mazzuchi, Th.A. ve René van, J., 2000. Dorp Risk Modeling in Distributed, Large-Scale Systems, Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions 30, 6, 651-660.
- Grabowski, M., You, Z., Song, H., Wang, H. ve Merrick, J. R., 2010. Sailing on Friday: Developing the Link Between Safety Culture and Performance in Safety-critical Systems, Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions, 40, 2, 263-284.
- Guarin, L., Logan, J., Majumder, J., Puisa, R., Jasionowski, A. ve Vassalos, D. ,2007. Design for Fire Safety, Proceedings of the 3rd Annual Conference on Design for Safety Conference, Berkeley, USA.
- Guerrero, D., ve Rodrigue, J. P., 2014. The Waves of Containerization: Shifts in Global Maritime Transportation, Journal of Transport Geography, 34, 151–164.
- Gruenefeld, U., Stratmann, T.C., Brueck, Y., Hahn, A., Boll, S., ve W. Heuten, 2018. Investigations on Container Ship Berthing from the Pilot's Perspective: Accident Analysis, Ethnographic Study, and Online Survey, TRANSNAV, 12, 3, 493-498.
- Harrald, J. R., Mazzuchi, T., Spahn, J., Van Dorp, R., Merrick, J., Shrestha, S. ve Grabowski, M., 1998. Using System Simulation to Model the Impact of Human Error in a Maritime System, Safety Science, 30, 1, 235-247.
- Harris, D., ve Li, W., 2011. An Extension of The Human Factors Analysis and Classification System for Use in Open Systems, Theoretical Issues in Ergonomics Science, 108-128.
- Hassel, M., Asbjornslett, B.E. ve Hole, L.P., 2011. Underreporting of Maritime Accidents to Vessel Accident Databases. Accident Analysis Prevention, 43, 6, 2053–2063.
- Heinrich, H.W., 1931. Industrial Accident Prevention, New York, NY, McGraw- Hill.

- Hemmatian, B., Abdolhamidzadeh, B., Darbra, R.M. ve Casal, J., 2014. The Significance of Domino Effect in Chemical Accidents, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 29 (Supplement C), 30-38.
- Hetherington, C., Flin, R. ve Mearns, K., 2006. Safety in Shipping: The Human Element, Journal of Safety Research, 37, 4, 401-411.
- Hine, G.A., 2004. In: Almirall, J.R., Furton, K.G. (Eds.), Fire Scene Investigation: an Introduction for Chemists. Analysis and Interpretation of Fire Scene Evidence. CRC Press, Boca Raton.
- Hollnagel, E., 2002. Understanding Accidents – from Root Causes to Performance Variability, IEEE, 7 th, Human Factors Meeting Scottsdale, Arizona.
- Hollnagel, E. ve Goteman, O., 2004. The Functional Resonance Accident Model, Proceedings of Cognitive System Engineering in Process Plant, 155-161.
- Hollnagel, E., Woods, D.D. ve Leveson, N.G., 2006. Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Ashgate Publishing Company, Aldershot, Hampshire, England,
- Hollnagel, E. ve Speziali, J., 2008. Study on Developments in Accident Investigation Methods: A Survey of the " State-of-the-Art, Swedish Nuclear Power Inspectorate, 45.
- Hollnagel, E., 2012. FRAM – The Functional Resonance Analysis Method, Modelling Complex Socio-technical Systems, Farnham: Ashgate.
- Hu, Y., ve Zhu, D., 2009. Empirical Analysis of The Worldwide Maritime Transportation Network, Physica A, 388, 10, 2061-2071.
- Huang, H.Z., Tong, X. ve Zuo, M., 2004. Posbist fault tree analysis of coherent systems, Reliability Engineering and Safety Systems, 84, 141-148.
- Huang, Y.H., Ljung, M., Sandin, J. ve Hollnagel, E., 2004. Accident Models for Modern Road Traffic: Changing Times Creates New Demands, IEEE, International Conference on Systems, Man and Cybernetics, October, The Hague, The Netherlands, 276-281.
- IIE, Insurance Information Enstitu, 2018. <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-man-made-disasters>. 30.06.2019.
- IMO, 1974. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), United Kingdom, 1, 845.
- IMO, 1996. Code of the Investigation of Marine Casualties and Incidents, FSI 5, 10, 2.
- IMO, 1997. Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents, United Kingdom, 20th Assembly, 1, 1-19.

- IMO, 1999. Amendments to the Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents (Resolution A.849(20)), United Kingdom, 21st Assembly, 1, 1-40.
- IMO, 2000. Revised Harmonized Reporting Procedures - Reports Required under SOLAS Regulation I/21 and MARPOL 73/78, Articles 8 and 12, United Kingdom, MSC-MEPC.3/Circ.1, 1, 1-47.
- IMO, 2008a. Casualty Analysis Procedure, United Kingdom, 1, 1-5.
- IMO, 2008b. Code of the International Standards and Recommended Practices for A Safety Investigation into A Marine Casualty or Marine Incident (Casualty Investigation Code), United Kingdom, 84/3, Annex 4, 1, 1-24.
- IMO, 2010. Global Integrated Shipping Information System (GISIS), United Kingdom, 26th Assembly, 1, 1-2.
- IMO, <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ReferencesAndArchives/HistoryofSOLAS/Pages/default.aspx> History of SOLAS. 04 Şubat 2018.
- ITSA, International Transportation Safety Association, 2016. <https://itsasafety.org/about/history-of-itsa/> History of ITSA. 01 Eylül 2019.
- Jiang, W. ve Han, W., 2018. Analysis of “2·28” KEEPER Chemical Industries Hazardous Chemical Explosion Accident Based on FTA and HFACS, International Journal of Environmental Research and Public Health, 15, 2151.
- Johansson, B. ve Lindgren, M., 2008. A Quick and Dirty Evaluation of Resilience Enhancing Properties in Safety Critical Systems. Paper Presented at The Proceedings of The 3.Symposium on Resilience Engineering, Juan-les-Pins, France.
- Jones, A. P., 1998. Climate and Measurement of Consensus: A Discussion of “Organizational Climate.”, Taylor & Francis, New York/United States.
- JTSB, Japan Transport Safety Board, 2019. http://www.mlit.go.jp/jtsb/statistics_mar.html#p01.06 Temmuz 2019.
- Kang, S., 2017. Application of HFACS (The Human Factors Analysis and Classification System) to the Korean Domestic Passenger Ship Accidents, World Maritime University Dissertations.
- Katsakiori, P., Sakellaropoulos, G. ve Manatakis, E., 2009. Towards an Evaluation of Accident Investigation Methods in Terms of Their Alignment with Accident Causation Models, Safety Science, 47, 7, 1007-1015.
- Kawka, N. ve Kirchsteiger, C., 1999. Technical Note on the Contribution of Sociotechnical Factors to Accidents Notified to MARS. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12, 53-57.

- Kececi, T. ve Arslan, O., 2017. SHARE Technique: A Novel Approach to Root Cause Analysis of Ship Accidents, Safety Science, 96, 1-21.
- Kızıkcapan, T., 2010. Kıyı Alanlarında Gemi Emniyet Yönetimi ve Deniz Kazaları Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Klir, G. J., ve Yuan, B., 1995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Knapp, S. ve Franses, P.H., 2009. Does Ratification Matter and Do Major Conventions Improve Safety and Decrease Pollution in Shipping, Marine Policy, 33, 5, 826–846.
- Konaçoğlu, J., 2017. Bulanık Mantık Yaklaşımı ile İnsan Kaynakları Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul/Türkiye.
- Konovessis, D. ve Vassalos, D., 2008. Risk Evaluation for RoPax Vessels. Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 222, 13–26.
- Korta, J. P., Lee, M. P., Einsberg, N. ve Dewispelare, A., 1996. Branch Technical Position The Use of Expert Elicitation in the High-Level Radioactive Waste Program. 1st Ed. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Kristiansen, S., 2013. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis, Routledge, United Kingdom.
- Kurumahmut, A. ve Yayıcı, C., 2011. Deniz Subayları İçin Temel Deniz Hukuku Barış ve Savaş Dönemi, Deniz Kuvvetleri Kültür Yayınları.
- Kwiecińska, B., 2015. Cause-and-Effect Analysis of Ship Fires Using Relations Diagrams, Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin.
- Laracy, J.R., 2006. A System Theoretic Accident Model Applied to Bio-Defense, Defense & Security Analyst, 22, 3, 301-310.
- Laurie, G., 2012. Air Accident Investigation Branch (AAIB) reaches 100, Chiltern Aircrew Association, 1-8.
- Lavasani, M. R. M., J. Wang, Z. Yang ve J. Finlay, 2011. Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines, International Journal of Marine Science Engineering, 1, 1, 29-42.
- Leveson, N., 2001. Part I: Event-Based Models, Massachusetts Institute of Technology, 1-140.
- Leveson, N.G., 2004. A New Accident Model for Engineering Safer Systems, Safety Science, 42, 4, 237-270.

- Leveson, N., 2011. *Engineering A Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. London: The MIT Press.
- Liang, G. S. ve Wang, M. J., 1993. Fuzzy Fault-Tree Analysis Using Failure Possibility, Microelectron Reliability, 33, 4, 583-597.
- Lin, T.C. ve Wang, M.J., 1997. Hybrid Fault Tree Analysis Using Fuzzy Sets. Reliability Engineering and System Safety, 58, 6, 205-231.
- Lorenz, C. D. ve Ziff, R. M., 2001. Precise Determination of the Critical Percolation Threshold for the Three-dimensional “Swiss Cheese” Model Using a Growth Algorithm, The Journal of Chemical Physics, 114, 8, 3659-3661.
- Luo, M., Shin ve Shin, S., 2016. Half-Century Research Developments in Maritime Accidents: Future Directions, Accident Analysis and Prevention, 123, 449-460.
- Luo, M., Shin, S. ve Chang Y., 2017. Duration Analysis for Recurrent Ship Accidents, Maritime Policy & Management, 44, 5, 603-622.
- Macrae, C., 2009. Human Factors at Sea: Common Patterns of Error in Groundings and Collisions, Maritime Policy & Management, 36, 1, 21-38.
- MAIB, Report No, R-030-2011/DIAM – Ocean Star Pacific - Serious Marine Casualty. www.maib.gov.uk. 10 Ocak 2018.
- MAIB, Marine Accident Investigation Branch, Report No: 17/2016 Arco Avon, <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57>. 10 Ocak 2018.
- MAIB, Marine Accident Investigation Branch, 2018. <https://www.gov.uk/government/organisations/marine-accident-investigation-branch/about>. 18 Subat 2018.
- Manuel, M.E., 2011. *Maritime Risk and Organizational Learning*, Ashgate Publishing, Ltd.
- Mendel, J. M., 1995. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial, IEEE, 83, 3, 345-377.
- Merrick, J.R.W., Singh, A., Dinesh, V., Van Drop, J.R. ve Mazzuchi, T. A., 2003. Propagation of Uncertainty in A Simulation-Based Maritime Risk Assessment Model Utilizing Bayesian Simulation Techniques. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 449-455.
- Misra, K.B. ve Weber, G.G., 1990. Use of Fuzzy Set Theory for Level, I Studies in Probabilistic Risk Assessment, Fuzzy Sets and Systems, 37, 2, 139-160.
- Mitchell, T. R., 1982. *People in Organizations: An Introduction to Organizational Behavior*, 3. Ed., McGraw-Hill, New York.
- MSC-MEPC, 2000. Reports on Marine Casualties and Incidents, International Maritime Organization, 1-45.

- MSC-MEPC, 2008. Casualty-Related Matters Reports on Marine Casualties and Incidents, International Maritime Organization, 1-47.
- MSC, 2006. Maritime Safety Committee 81st Session, Study on Incidents of Explosions on Chemical and Product Tankers, Report of the Activities of the Inter-industry Working Group (IIWG), Maritime Safety Committee: International Maritime Organization.
- MSIU, Report No, 20/2013 Clipper Ranger - Marine Casualty, 2018. <https://mtip.gov.mt/en.10> Şubat 2018.
- Mukherjee, S., 2019. Boolean Logic in Fluid, Problems and Solutions in Structural Geology and Tectonics. Developments in Structural Geology and Tectonics Book Series Flow, 15.
- Mullai, A. ve Paulsson, U., 2002. Oil Spills in Öresund – Hazardous Events Causes and Claims Report on the SUNDRISK Project. Lund University Centre for Risk Analysis and Management (LUCRAM), Department of Industrial Management and Engineering Logistics, Lund University, Lund, Sweden.
- Mullai, A., 2004. A Risk Analysis Framework for Maritime Transport of Packaged Dangerous Goods. In: Brindley, C. (Ed.), Supply Chain Risk. Ashgate Publishing Company, Aldershot, Hampshire, England, 130-159.
- Mullai, A. ve Paulsson, U., 2011. A Grounded Theory Model for Analysis of Marine Accidents, Accident; analysis and prevention, 43, 1590-1603.
- National Research Council, 1991. Fishing Vessel Safety: Blueprint for a National Program. National Academies Press.
- Nikolaou, N. ve Spyrou, K., 2010. Assessment of Fire Vulnerability of Passenger Ships, Proceedings of the Marine Technology Conference. Limassol, Cyprus.
- NTSB, National Transportation Safety Board, 2019. <https://www.nts.gov/about/Pages/default.aspx>. 06 Ocak 2019
- Ohno, T., 1988. Toyota Production System, Beyond Large-Scale Production, Portland, Oregon, Productivity Press.
- Okoh, P. ve Haugen, S., 2013. Maintenance-Related Major Accidents: Classification of Cause and Case Study, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, 6, 1060-1070.
- Okoh, P. ve Haugen, S., 2014. A Study of Maintenance-Related Major Accident Cases in the 21st century, Process Safety and Environmental Protection, 92, 4, 346-356.
- O'Neil, W. A., 2003. The Human Element in Shipping, WMU Journal of Maritime Affairs, 2, 2, 95-97.

- Olsen, N. S., 2011. Coding ATC Incident Data Using HFACS: Inter-coder Consensus, Safety Science, 49, 10, 1365-1370.
- Onisawa, T., 1988. An Approach to Human Reliability in Man-Machine Systems Using Error Possibility, Fuzzy Sets and Systems, 27, 2, 87-103.
- Onisawa, T., 1990. An Application of Fuzzy Concepts to Modelling of Reliability Analysis, Fuzzy Sets Systems, 37, 3, 267-287.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınları, I. Baskı, İstanbul.
- Pan, N. ve Wang, H., 2007. Assessing Failure of Bridge Construction Using Fuzzy Fault Tree Analysis. 4th International Conference on Fuzzy System and Knowledge Discovery, 1, 2, 96-100.
- Patterson J. ve Shappell S., 2010. Operator Error and System Deficiencies: Analysis of 508 Mining Incidents and Accidents from Queensland, Australia Using HFACS, Accident Analysis and Prevention, 42, 1379-1385.
- Peeters, J. W., Basten, R. J. I. ve Tinga, T., 2018. Improving Failure Analysis Efficiency by Combining FTA and FMEA in a Recursive Manner, Reliability Engineering & System Safety, 36-44.
- Perneger, T. V., 2005. The Swiss Cheese Model of Safety Incidents: Are There Holes in the Metaphor?, BMC Health Services Research, 5, 1, 1.
- Ping, H.; Zhang, H. ve Zuo, M.J., 2007. Fault Tree Analysis Based on Fuzzy Logic, Annual Reliability and Maintainability Symposium, 10, 4, 77-82.
- PMA, Report No, R-030-2011/DIAM, Ocean Star Pacific-Marine Casulty. [https:// www.segumar.com/marine-accident-investigation](https://www.segumar.com/marine-accident-investigation). 20 Aralık 2017.
- Portela, R. C., 2005. Maritime Casualties Analysis as a Tool to Improve Research About Human Factors on Maritime Environment, Journal of Maritime Research, 2, 2, 3-18.
- Primorac, B. B. ve Parunov, J., 2016. Review of Statistical Data on Ship Accidents, Maritime Technology and Engineering, 809-814.
- Psarros, G., Skjong R. ve Eide, M. S., 2010. Review of Statistical Data on Ship Accidents, Accident Analysis & Prevention, 42, 2, 619-625
- Qureshi, Z. H. 2007. A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Socio-Technical Systems. Paper Presented at the Proceedings of the 12. Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software and Safety-Related Programmable Systems-Volume 86.

- Rajakarunakaran, S., , Kumar, A. M. ve Prabhu, V.A., 2015. Applications of Fuzzy Faulty Tree Analysis and Expert Elicitation for Evaluation of Risks in LPG Refuelling Station, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 33, 109-123.
- Rasmussen, J., 1997. Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem, Safety Science, 27, 3, 183-213.
- Rathnayaka, S., Khan, F. ve Amyotte, P., 2011. SHIPP Methodology: Predictive Accident Modeling Approach. Part I: Methodology and Model Description, Process Safety and Environmental Protection, 89,3, 151-164.
- Rausand, M. ve Hoyland, A., 2004. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications, John Wiley and Son.
- Reason, J., 1990. Human Error, Cambridge university press, United States.
- Reason, J. T., 1997. Managing the Risks of Organizational Accidents, Ashgate Aldershot, United Kingdom.
- Reason, J., 2000. Human error: Models and Management, British Medical Journal, 172, 393-396.
- Reason, J., Hollnagel, E. ve Paries, J., 2006. Revisiting the «Swiss Cheese» Model of Accidents, Journal of Clinical Engineering, 27, 110-115.
- Reinach, S. ve Viale, A., 2006. Application of a Human Error Framework to Conduct Train Accident/incident Investigations, Accident Analysis & Prevention, 38, 2, 396-406.
- Ringdahl, L. H., 2005. Safety Analysis Principles and Practice in the Occupational Safety. London: Taylor & Francis.
- Roberts, S.E. ve Marlow, P.B., 2002. Casualties in Dry Bulk Shipping (1963–1996), Marine Policy, 26, 6, 437-450.
- Roberts, S.E., Marlow, P.B. ve Jaremin, B., 2012. Shipping Casualties and Loss of Life in UK Merchant Shipping, UK Second Register and Foreign Flags Used by UK shipping Companies, Marine Policy, 36, 3, 703–712.
- Roberts, S.E., Pettit, S.J. ve Marlow, P.B., 2013. Casualties and Loss of Life in Bulk Carrier from 1980 to 2010, Marine Policy, 42, 223–235.
- Ross, J., T. 2004. Fuzzy Logic With Engineering Applications University of New Mexico, USA, John Wiley & Sons, Ltd.
- Rothblum, A. M., 2000. Human Error and Marine Safety. Paper presented at the National Safety Council Congress and Expo, Orlando, FL, United States.

- Salmon, P. M., Cornelissen, M. ve Trotter, M. J., 2012. Systems-based Accident Analysis Methods: A Comparison of Accimap, HFACS, and STAMP, Safety Science, 50, 4, 1158-1170.
- Sawer, J.P. ve Rao, S.S., 1994. Fault Tree Analysis of Fuzzy Mechanical Systems. Microelectronic Reliability, 34, 18, 653-667.
- Sætrevik, B. ve Hystad S.W., 2017. Situation Awareness as A Determinant for Unsafe Actions and Subjective Risk Assessment on Offshore Attendant Vessels, Safety Science , 93, 214–221.
- Schröder-Hinrichs, J. U., Baldauf, M. ve Ghirxi, K. T., 2011. Accident Investigation Reporting Deficiencies Related to Organizational Factors in Machinery Space Fires and Explosions, Accident Analysis & Prevention, 43, 3, 1187-1196.
- Schröder-Hinrichs, J. U., Hollnagel, E. ve Baldauf, M., 2012. From Titanic to Costa Concordia -A Century of Lessons Not Learned, WMU Journal of Maritime Affairs, 11, 2, 151-167.
- Shappel, S. A. ve Wiegmann, D. A., 2000. The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS, US Federal Aviation Administration, 1050-8414, 1-19.
- Shappell, S. A. ve Wiegmann, D. A., 2003. A Human Error Analysis of General Aviation Controlled Flight Into Terrain Accidents Occurring Between 1990-1998, Virginia: FAA - Federal Aviation Administration.
- Shappell, S. A. ve Wiegmann, D. A., 2004. HFACS Analysis of Military and Civilian Aviation Accidents: A North American Comparison, ISASI Forum, 8, 1-8.
- Sheridan, T. B., 2008. Risk, Human Error, and System Resilience: Fundamental Ideas, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 50, 3, 418-426.
- Shichuan, S., Liang, W., Yuhong, N. ve Xiang, G., 2012. Numerical Computation and Characteristic Analysis on The Center Shift of Fire Whirls in A Ship Engine Room Fire, Safety Science, 50, 1, 12-18.
- Silei G., 2010. History of Technological Hazards, Disasters and Accidents , Encyclopedia of Life Support Systems Department of Historical, Law, Political and Social Sciences, University of Siena.
- Singer, D., 1990. A fuzzy Set Approach to Fault Tree and Reliability Analysis. Fuzzy Sets and Systems, 34, 2, 145-155.
- Skjong, R. ve Guedes Soares, C., 2008. Safety of Maritime Transportation, Reliability Engineering and System Safety, 93, 9, 1289-1291.

- Smith, W. A., Bourne, J., Burton, T., Fletcher, D., Newlands, F. G., Perkins, G. ve Simmons, F., 1912. The Official Transcript of the United States Senate Hearings into the Sinking of the RMS Titanic, Subcommittee of the Committee on Commerce, 1171.
- Soares, C.G. ve Teixeira, A.P., 2001. Risk Assessment in Maritime Transportation, Reliability Engineering and System Safety, 74, 3, 299-309.
- Söner, Ö., Asan, U. ve Çelik, M., 2015. Use of HFACS- FCM in Fire Prevention Modelling on Board Ships, Safety Science, 77, 25-41.
- Stamatelatos, M., ve Caraballo, J., 2002. Fault Tree Handbook with Aerospace Applications. Washington, DC: NASA.
- Stapelberg, R.F., 2008. Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design, 175-6.
- Stoop, J. A., 2003. Maritime Accident Investigation Methodologies, Injury Control and Safety Promotion, 10, 4, 237-242.
- Sugeno, M. 1999. Fuzzy Modelling and Control. 1st Ed. CRC Press, Florida, USA.
- Suresh, P.V., Babar, A.K. ve Raj, V. V., 1996. Uncertainty in Fault Tree Analysis: A Fuzzy Approach, Fuzzy Sets and Systems, 83, 2, 135-141.
- Svedung, I. ve Rasmussen, J., 2002. Graphic Representation of Accident Scenarios: Mapping System Structure and the Causation of Accidents, Safety Science, 40, 5, 397-417.
- Şahin, B. ve Şenol, Y. E., 2015. A Novel Process Model for Marine Accident Analysis by Using Generic Fuzzy-AHP Algorithm, The Journal of Navigation, 68, 162-18.
- Şen, Z., 2009. Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tanaka, H., Fan, L., Lai, S. ve Toguchi, K., 1983. Fault Tree Analysis by Fuzzy Probability, IEEE Transactions on Reliability, 32, 4, 453-457.
- Themelis N. ve Spyrou K. J., 2012. Probabilistic Fire Safety Assessment of Passenger Ships, Journal of Ship Research, 56, 4, 252-275.
- Theophilus, S. C., Esenowo, V. N., Arewa, A. O., Osamor Ifelebuegu, A., Nnadi, E. O., ve Mbanaso, F. U., 2017. Human Factors Analysis and Classification System for the Oil and Gas Industry (HFACS-OGI), Reliability Engineering and System Safety, 167, 168- 176.
- Timothy, J.R., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, Wiley, New York.

- Tournadre, J., 2014. Anthropogenic Pressure on The Open Ocean: The Growth of Ship Traffic Revealed by Altimeter Data Analysis, Geophysical Research Letter, 41, 22, 7924-7932.
- Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F. ve Grande, O., 2008. A Bayesian Belief Network Modelling of Organisational Factors in Risk Analysis: A Case Study in Maritime Transportation, Reliability Engineering and System Safety, 93, 823-834.
- TSB, Statistical Summary of Marine Occurrences 2018. Transportation Safety Board of Canada, <https://www.tsb.gc.ca/eng/stats/marine/2018/ssem-ssmo-2018.html>, 10.05.2019
- TSB, Transportation Safety Board of Canada, 2019. <http://www.tsb.gc.ca/eng/qui-about/index.asp>. 05 Ocak 2019.
- Tzannatos, E., 2010. Human Element and Accidents in Greek Shipping, Journal of Navigation, 63,01, 1-9.
- Uğurlu, Ö., Yıldırım, U. ve Yüksekıldız, E., 2013. Marine Accident Analysis with GIS, Journal of Shipping and Ocean Engineering, 3,21-29.
- Uğurlu, Ö., Erol, S. ve Başar, E., 2015a. The Analysis of Life Safety and Economic Loss in Marine Accidents Occurring in the Turkish Straits, Maritime Policy & Management, ahead-of-print, 1-15.
- Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U. ve Yüksekıldız, E., 2015b. Marine Accident Analysis for Collision and Grounding in Oil Tanker Using FTA Method, Maritime Policy & Management, 42,2, 163-185.
- Uğurlu, Ö., 2016. Analysis of Fire and Explosion Accident Occurring in Tankers Transporting Hazardous Cargoes, International Journal of Industrial Ergonomics, 55, 1-11.
- Uğurlu, Ö., Yıldız, S., Loughney, S., ve Wang, J., 2018. Modified Human Factor Analysis and Classification System for Passenger Vessel Accidents (HFACS-PV). Ocean Engineering, 161, 46-61.
- Ulusçu, Ö. S., Özbaş, B., Altıok, T., ve Or, İ., 2009. Risk Analysis of the Vessel Traffic in the Strait of Istanbul, Society for Risk Analysis, 29, 10, 1454-1472.
- UN, 1982. United Nations Convention on the Law of the Sea, New York/US, 1, 1-202.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2018, Paper presented at the United Nations Conference On Trade And Development (UNCTAD), New York and Geneva, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf. 08 Nisan 2018.
- Underwood, P. ve Waterson, P., 2013. Accident Analysis Models and Methods: Guidance for Safety Professionals, Loughborough University, England.

- Underwood, P. ve Waterson, P., 2014. Systems Thinking, the Swiss Cheese Model and Accident Analysis: a Comparative Systemic Analysis of the Grayrigg Train Derailment Using the ATSB, AcciMap and STAMP models, Accident Analysis & Prevention, 68,75-94.
- Van Drop, J.R., Merrick, J.R.W., Harrald, J.R., Mazzuchi, T. A., ve Grabowski, M., 2001. Management Procedure for Washington State ferries, Risk Analysis, 21, 1, 127-142.
- Vanem, E. ve Skjong, R., 2006. Designing for Safety in Passenger Ships Utilizing Advanced Evacuation Analysis: A Risk Based Approach, Safety Science, 44, 111-135.
- Vassalos, D., Azzi, C. ve Pennycott, A., 2010. Crisis Management Onboard Passenger Ships, Human Performance at Sea 2010, Glasgow, United Kingdom, 1549-1556.
- Ventikos, N.P., Harilaos, N. ve Psaraftis, 2004. Spill Accident Modeling: A Critical Survey of the Event-Decision Network in the Context of IMO's Formal Safety Assessment. Journal of Hazardous Materials, 107, 59–66.
- Ventikos, N.P., 2013. Exploring Fire Incidents/Accidents Onboard Cruise and Passenger Ships, SPOUDAI, Journal of Economics and Business, 63, 3-4, 146-157.
- Wagenaar, W. A. ve Groeneweg, J., 1987. Accidents at sea: Multiple Causes and Impossible Consequences, International Journal of Man-Machine Studies, 27, 5, 587-598.
- Wang, D., Zhang, P. ve Chen, L. , 2013. Fuzzy Fault Tree Analysis for Fire and Explosion of Crude Oil Tanks, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, 1390-1398.
- Wang, J., Pillay, A., Kwon, Y., Wall, A. ve Loughran, C., 2005. An Analysis of Fishing Vessel Accidents, Accident Analysis & Prevention, 37, 6, 1019-1024.
- Wang, Y. F., Roohi, S. F., Hu, X. M. ve Xie, M., 2010. A New Methodology to Integrate Human Factors Analysis and Classification System with Bayesian Network, IEEE, 1776-1780.
- Wang, Y. F., Xie, M., Chin, K. S. ve Fu, X. J., 2013. Accident Analysis Model Based on Bayesian Network and Evidential Reasoning Approach, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, 1, 12.
- Weng, J. ve Yang, D., 2015. Investigation of Shipping Accident Injury Severity and Mortality, Accident Analysis & Prevention, 76, 92–101.
- Whittingham, R., 2004. The Blame Machine: Why Human Error Causes Accidents. Routledge.

- Wiegmann, D. A. ve Shappell, S. A., 1997. Human Factors Analysis of Postaccident Data: Applying Theoretical Taxonomies of Human Error, The International Journal of Aviation Psychology, 7, 1, 67-81.
- Wiegmann, D. A. ve Shappell, S. A., 2001. Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Aviat Space Environ Med, 72, 11, 1006-1016.
- Wild, P. ve Dearing, J., 2000. Development of and Prospects for Cruising in Europe, Maritime Policy & Management, 27, 4, 315-333.
- Yavuz, İ., 2018. Hata Ağacı Analizi İçin Java Tabanlı Bir Programın Geliştirilmesi ve Lpg, Ham Petrol ve Dizel Tankları İçin Uygulanması, Doktora, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalı, Ankara/Türkiye.
- Yıldırım, U., 2016. Deniz Kazalarının İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ile İncelenmesi, Doktora, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Trabzon/Türkiye.
- Yin, K. R., 1994. Case Study Research, Design and Methods, 2. Ed., Saga Publication.
- Yuhua, D. ve Datao, Y., 2005. Estimation of Failure Probability of Oil and Gas Transmission Pipelines by Fuzzy Fault Tree Analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 18, 2, 83-88.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets. Information And Control, 8, 3, 338-353.
- Zadeh, L. A., 1975. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning , II. Information sciences, 8, 4, 301-357.
- Zegear, D. A., 1991. Accident Investigation, Safety Manual.
- Zhan Q., Zheng W. ve Zhao B., 2017. A Hybrid Human and Organizational Analysis Method for Railway Accidents Based on HFACS-Railway Accidents (HFACS-RAs), Safety Science, 91, 232-250.
- Zhang, M., Zhang, D., Goerlandt, F., Yan, X. ve Kujala, P. 2019. Use of HFACS and FaultTree Model for Collision Risk Factors Analysis of Icebreaker Assistance in Ice-Covered Waters, Safety Science, 111, 128-143.
- Zhang, Z. ve Xiao-Ming, L., 2017. Global Ship Accidents and Ocean Swell-Related Sea States, Natural Hazards Earth System Sciences, 17, 11, 2041-2051.
- Zong, L., Wang, Y. Ve Wu, B., 2017. Risk Assessment Framework for Fire Accidents in the Ship Engine Room, International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), August, Banff, Canada, 4, 1093-1098.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Çalışma kapsamında incelenen yangın/patlama kazalarına ait veriler

Veri Tabanı	Gemi Adı	IMO No	Pozisyon		Gemi tipi	Gross Tonajı	Gemi İnşaa Yılı	Kaza Boyutu	Ölen Kişi Sayısı	Yaralı Kişi sayısı	Kaza Tarihi	Saati (LT)
GISIS MSIU	GSP Perseu	9083160	Tersane (Agigea, Constanta)		İkmal Gemisi	1289	1992	Ciddi Kaza	-	-	29.10.2014	20:30
ATSB Madden	Marigold	8815255	20° 19,0' S	118° 34,0'E	Dökme Yük Gemisi	1990	110,779	Ciddi Kaza	-	2	13.07.2014	14:47
DMAIB	Frigga	9175250	55°40,1'N	011°03,82E	Römorkör	1998	476	Ciddi Kaza	-	-	5.05.2014	20:30
MAIB	Sea Venus	8211514	41°49,9' N	046°37,7'W	Ro/Ro	1982	33199.98	Çok Ciddi Kaza	-	-	10.04.2008	07:30
MSIU	Mississippi Star	9527623	54° 33,5'N	000°27,9'W	Kimyasal Tanker	2010	8,581	Çok Ciddi Kaza	1	-	11.06.2013	12:06
MSIU	Askara	9431886	22° 15,0'N	115° 01,0'E	Kimyasal Tanker	2008	7260	Ciddi Kaza	-	2	5.03.2016	17:10
BMA GISIS	Laurentian	8112500	26° 09'.1N	053° 07,1' E	Araştırma/ Sörvey Gemisi	1983	3375	Ciddi Kaza	-	-	11.10.2001	06:14
PMA	Super Sun	8122969	Changjiangkou, Yangtze River, in Eastern China		Dökme Yük Gemisi	1981	11256	Ciddi Kaza	-	-	14.10.2013	05:00
MSIU	Thomson Majesty	8814744	43°17,04' N	009° 54,18' E	Yolcu Gemisi	1992	41662	Ciddi Kaza	-	-	21.10.2016	21:28
MSIU	Ocean Ranger	8221959	15° 31,6'S	38° 7,1'W	Dökme Yük Gemisi	1983	19146	Ciddi Kaza	-	-	23.08.2011	01:45
ATSB	Maersk Duffield	9227340	27° 17,0' S	153° 15,0' E	Konteynır Gemisi	2002	45803	Ciddi Kaza	-	-	10.12.2009	13:22

Ek Tablo 1'in devamı

Veri Tabanı	Gemi Adı	IMO No	Pozisyon		Gemi tipi	Gross Tonajı	Gemi İnşaa Yılı	Kaza Boyutu	Ölen Kişi Sayısı	Yaralı Kişi sayısı	Kaza Tarihi	Saati (LT)
PMA	Celestia	9411575	18°50,7' N	072°44,3' E	Ham Petrol Gemisi	2017	8473	Ciddi Kaza	-	-	15.07.2012	01:45
PMA	Regina I	-	Drapetsona, Greece		Genel Kargo Gemisi	1994	3806	Ciddi Kaza	-	-	25.01.2013	14:30
PMA	King Duckling	7810284	33°32,0'N	123°35,9' E	Dökme Yük Gemisi	1981	41,94	Ciddi Kaza	-	-	16.03.2010	01:30
PMA	Ocean Star pacific	7027411	15° 11,90' N	096° 08,00' W	Yolcu	1971	23,149	Ciddi Kaza	-	-	15.04.2011	22:15
PMA	Coral III	8126769	11° 28,49' N	109° 49,54' E	Dökme Yük	1989	16835	Çok Ciddi Kaza	-	3	3.03.2014	05:55
PMA	Emma Bulker	9424091	57° 15,70' N	11° 30,00' E	Dökme Yük	2010	19812	Ciddi Kaza	-	-	31.01.2014	00:15
ATBS	River Embley	8018144	23°50,0'S	151°10,0'E	Dökme Yük	1983	51,035	Ciddi Kaza	-	-	16.02.2010	04:35
ATBS	Baltimar Boreas	8807349	Off Newcastle, New South Wales		Genel Kargo	1989	2854	Ciddi Kaza	-	-	09,02,2007	02:50
ATBS, TSB	Queen of Surrey	396048 (of. No)	Langdale and Horseshoe Körfezi		Ro/Ro Yolcu	1981	6968.91	Ciddi Kaza	-	-	12.05.2003	09:32
ATBS	Java Sea	8607684	Cairns Limanı		Çok Amaçlı	1988	1094	Ciddi Kaza	-	-	24.05.2005	04:40
ATBS	Opal Naree	8210388	Mistaken Island Dampier Rıhtımı		Dökme Yük	1982	18 122	Ciddi Kaza	-	-	15,09,2005	16:28
ATBS	MSC Lugano	8714217	35°26,0'S	122°22,0'E	Konteynır	1988	35 958	Ciddi Kaza	-	-	31.03.2008	11:15
ATBS	L'Astrolabe	8418198	Dumont d'Urville, bound for Hobart		Çok Amaçlı/Buz Kıran	1986	1371	Ciddi Kaza	-	-	11.11.2006	05:30
ATBS	Medi Monaco	9236896	Victoria Limanı, Geelong		Dökme Yük	2001	-	Çok Ciddi Kaza	-	3	17.05.2003	13:44

Ek Tablo 1'in devamı

Veri Tabanı	Gemi Adı	IMO No	Pozisyon		Gemi tipi	Gross Tonajı	Gemi İnşaa Yılı	Kaza Boyutu	Ölen Kişi Sayısı	Yaralı Kişi Sayısı	Kaza Tarihi	Saati (LT)
ATBS	Aurora Australis	8717283	32° 57,7' S	114° 09,7' E	Araştırma/ Sörvey	1990	6574	Ciddi Kaza	-	-	14.01.1999	06:14
PMA	Arlott	9065895	Rıhtım # 4 Suape, Cape Recife, Brazil		Genel Kargo	1994	7662	Ciddi Kaza	-	-	14.12.2012	18:50
BSU	Libra Rio Grande	9105994	New Orleans Limanı		Konteynır	1996	16,801	Ciddi Kaza	-	-	23.05.2005	10:20
NTSB	Carnival Liberty	9278181	18°20,0'N	064°55,3'W	Kruvaziyer	2005	110,32	Ciddi Kaza	-	-	07.09.2015	11:33
NTSB	Caribbean Fantasy	8814263	Atlantic Ocean, San Juan Limanının 2 mil kuzeyi		Ro/Ro Yolcu	1989	28,112	Ciddi Kaza	-	-	17.08.2016	07:25
NTSB Madden	Alliance St. Louis	9285500	26° 35'.0N	089° 23,9' W	Ro/Ro	2005	57280	Ciddi Kaza	-	-	01.16.2017	02:52
NTSB	Maritime Alliance	8202525	Huarun Dadong Tersanesi		Dökme Yük	1987	22359	Çok Ciddi Kaza	1	1	01.02.2007	
MAIB Madden	Arco Avon	8508383	Great Yarmouth yaklaşık 12 mil açığı, UK.		Tarama Gemisi	1986	3474	Çok Ciddi Kaza	1	-	18.08.2015	23:12
TSB	Statendam	C 1498	Gower Poin 4 mil açığı		Yolcu	1992	55 451	Ciddi Kaza	-	-	04.08.2002	20:25
DMAIB	Parida	9159933	58°15,6' N	002°22,3' W	Ro/Ro	1999	5,801	Ciddi Kaza	-	-	7.10.2014	18:10
DMAIB	Seadream I	8203438	39°19,3' N	015°00,4'E	Yolcu	1984	4,333	Ciddi Kaza	-	-	1.09.2016	01:50
BMA	Pine Galaxy	9272682	Los Angeles, USA		Kimyasal Tanker	2004	12105.0	Çok Ciddi Kaza	1	-	13.08.2014	04:30
BMA	Boudicca	7218395	34° 31,2'N	008°12,2'W	Yolcu	1971	28551	Ciddi Kaza	-	-	25.01.2015	03:24
BMA	Black Watch	7108930	35° 24,2'N	021° 42,73'W	Yolcu	1971	28613	Ciddi Kaza	-	-	1.07.2016	08:38

Ek Tablo 1'in devamı

Veri Tabanı	Gemi Adı	IMO No	Pozisyon		Gemi tipi	Gross Tonajı	Gemi İnşaa Yılı	Kaza Boyutu	Ölen Kişi Sayısı	Yaralı Kişi sayısı	Kaza Tarihi	Saati (LT)
BMA	Tai Shan	8513560	34° 10,3' S	048° 27,2'E	Ro/Ro	1986	48676	Ciddi Kaza	-	-	2.08.2014	09:12
BMA	Splendour of the Seas	9000121	37° 19,0' N	020° 50,0'E	Yolcu	1996	69472	Ciddi Kaza	-	-	22.10.2015	07:52
BMA	Nariva	9172715	49° 36,6' N	003° 36,5' W	Kimyasal Tanker	1998	20 573	Ciddi Kaza	-	1	14.08.2001	11:25
BMA, MAIB	Oscar Wilde	8506311	50° 04,0' N	005° 00,0' W	Ro/Ro Yolcu	1987	31914	Ciddi Kaza	-	-	2.02.2010	19:13
MSIU	Balkan	9358890	Salerno Limanı		Konteynır	2007	15633	Ciddi Kaza	-	-	04.10.2011	00:44
MSIU	Clipper Ranger	9119402	Birkenhead, UK		Ro/Ro	1998	7606	Ciddi Kaza	-	-	1.12.2012	14:00
MSIU	Maribella	9316672	34° 49,0' N	122° 58,0' W	Dökme Yük	2004	39736	Ciddi Kaza	-	-	27.07.2015	20:13
MSIU	Azamara Quest	9210218	19° 51,7' N	068° 31,8' E	Yolcu	2000	30277	Ciddi Kaza	-	-	27.04.2016	13:31
MSIU	Usichem	9344344	Rhodes Island'ın 40 mil açığı		Kimyasal Tanker	2005	4,798	Ciddi Kaza	-	1	19.04.2017	10:30
BMA	LNG Adamawa	9262211	Zeebrugge Limanı		LNG Tanker	2005	115993	Ciddi Kaza	-	-	28.11.2010	15:55

ÖZGEÇMİŞ

Songül SARIALIOĞLU, 01.10.1983 tarihinde Samsun'da dünyaya gelmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında mezun oldu. 2006-2016 yılları arasında Türk Deniz Ticaret Filosunun farklı tonajlarda farklı tip gemilerinde Uzak yol Vardiya Zabiti ve Uzak yol Birinci Zabit olarak görev yapmıştır. 2013 yılında Uzakyol Kaptanı olmuştur. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. İyi düzeyde İngilizce bilmektedir.