

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEMİ HAVUZLANMA OPERASYONLARINDA YAŞANAN SORUNLAR VE
EMNİYETLİ HAVUZ OPERASYONU

DOKTORA TEZİ

Mehmet YAHŞİ

MAYIS 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEMİ HAVUZLANMA OPERASYONLARINDA YAŞANAN SORUNLAR VE
EMNİYETLİ HAVUZ OPERASYONU

Mehmet YAHŞI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 / 04 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 27 / 05 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Özkan UĞURLU

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Gemi Havuzlanma Operasyonlarında Yaşanan Sorunlar ve Emniyetli Havuz Operasyonu” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özkan UĞURLU’ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE’ye ve Sayın Prof. Dr. Sercan EROL’a, eğitim öğretim hayatımda katkısı olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde bana desteklerini esirgemeyen Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü’nde başta Doç. Dr. Umut YILDIRIM olmak üzere tüm değerli hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararımda arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Emine YAHŞİ ve merhum babam Mustafa YAHŞİ’ye, eşim Aysel YAHŞİ, oğlum Mustafa YAHŞİ ve kızım Ceyda YAHŞİ’ye teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Mehmet YAHŞİ

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Gemi Havuzlanma Operasyonlarında Yaşanan Sorunlar ve Emniyetli Havuz Operasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. 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. 27/05/2024

Mehmet YAHŞİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Türkiye’de Gemi Yapım Endüstrisi	2
1.3. Havuz Çeşitleri ve Özellikleri	3
1.3.1. Kuru Havuzlar ve Özellikleri.....	6
1.3.2. Yüzer Havuzlar ve Özellikleri	11
1.4. Yüzer Havuzlara İlişkin Mevzuatlar	17
1.4.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO).....	17
1.4.2. Bayrak Devleti Uygulamaları	18
1.4.3. Klas Kuruluşları	18
1.4.4. Ulusal Mevzuatlar	19
1.5. Gemi Havuzlanma Operasyonu.....	19
1.5.1. Geminin ve Yüzer Havuzun Hazırlığı	19
1.5.2. Havuzlanma Operasyonu ve Havuzlanma Manevrası	21
1.5.3. Geminin Havuzdan Ayrılması	21
1.6. Gemi Havuzlanma Kazaları ve Gemi İnşa Sanayisine Etkileri.....	22
1.7. Bulanık Hata Ağacı Analizi (FFTA) Yöntemi	24
1.7.1. Bulanık Mantık Yaklaşımı Metodu.....	25
1.7.2. Hata Ağacı Analiz Yöntemi (FTA).....	27
1.7.3. Bulanık Hata Ağacı Analiz Yönteminin Gelişimi	32
1.7.4. Tehlikelerin Ayrıştırılması Aşaması	32
1.7.5. Bilinmeyen Başarısızlık Oranlarının Olasılığının Belirlenmesi	33

1.7.6. Değerlendirme Basamağı	33
1.7.7. Bulanıklaştırma Basamağı	34
1.7.8. Birleştirme Basamağı	35
1.7.9. Durulaştırma Basamağı	37
1.7.10. Hata Olasılığın Üretilmesi	38
1.7.11. Tepe Olay Başarısızlık Olasılığı	38
1.7.12. Önem Derecelendirilmesi	39
1.7.13. Monte Carlo Simülasyon Yöntemi	39
1.8. Olay Ağacı Analiz Yöntemi (ETA).....	40
1.9. Kanıta Dayalı Muhakeme Yöntemi (ER).....	44
1.10. Benzer Çalışmalar	52
1.10.1. Havuz Kazaları Literatürü.....	52
1.10.2. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Yöntemi Literatürü	54
1.10.3. Olay Ağacı Yöntemi Literatürü	56
1.10.4. Kanıta Dayalı Akıl Yürütme Literatürü	58
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	61
2.1. Çalışmanın Kapsamı.....	61
2.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Metotlar	62
2.1.1. Hata Ağacı ve Kök Olayları Tanımlanması	64
2.1.2. Bulanık Hata Ağaç Nitel ve Nicel Analizi.....	67
2.1.3. Olay Ağacı Analiz Yöntemi Uygulaması	74
2.1.4. Havuz Kazaları Azaltmaya Yönelik Öneriler ve Sıralanması	75
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	76
3.1. FFTA Yönteminin Nicel ve Nitel Hesaplamalar ile İlişkili Bulguları	76
3.1.1. Uzman Değerlendirmeleri Neticesinde Elde Edilen Bulgular	76
3.1.2. Bulanıklaştırma Aşaması Bulguları	77
3.1.3. Toplama Aşaması Hesaplamaları Neticesinde Elde Edilen Bulgular.....	80
3.1.4. Durulaştırma Aşaması Hesaplamaları ve İlgili Bulgular	85
3.1.5. Başarısızlık Olasılık Üretimi Neticesi Elde Edilen Bulgular.....	86
3.1.6. Tepe Olay Başarısızlık Olasılığı İncelenmesi Bulguları.....	87
3.1.7. Hata Ağacı Önem Derecesinin Ölçü Hesaplanması ile İlgili Bulgular.....	87
3.1.8. Duyarlılık Analizi	89
3.2. ETA	94

3.3. Havuz Kazası Örnek Olaylar.....	95
3.4. Havuz Kazalarında Riski Azaltmaya Yönelik Önlemler ve ER Yaklaşımı ile Sıralanması	96
4. SONUÇLAR.....	110
5. ÖNERİLER.....	112
6. KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	



Doktora Tezi

ÖZET

GEMİ HAVUZLANMA OPERASYONLARINDA YAŞANAN SORUNLAR VE EMNİYETLİ HAVUZ OPERASYONU

Mehmet YAHŞİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Özkan UĞURLU
2024, 128 Sayfa

Gemi havuzlanma operasyonlarında meydana gelen kazalar, sonuçları itibarıyla denizcilik sektörüne ve bu sektöre bağlı diğer endüstrileri de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle gemi havuzlanma operasyonlarında sabit ve değişken risklerin ortaya konması, güncel risk kontrol seçeneklerinin belirlenmesi denizcilik sektöründe emniyetin sağlanması ve sürdürülebilirliği için gereklidir. Bu çalışmada, havuz kazaları kalitatif ve kantitatif olarak analiz edilmiştir. Analizlerde sırasıyla, Bulanık Hata Ağacı Analizi ve Olay Ağacı Analizi yaklaşımları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda incelenen gemi havuzlanma operasyonlarında takarya problemi farkındalığının artırılması ile kazaların azaltılması mümkün olabilecektir. Bu sayede muhtemel can, mal kaybı ve çevre kirliliği vakaları da azaltılarak denizcilik sektöründe emniyete katkı sağlanabilecektir. Ayrıca çalışma sonucunda yüzer havuzlarda kazaları önlemeye yönelik tedbirler sunulmuştur. Yüzer havuzlarda gemi havuzlanma operasyonları için sunulan tedbirlerin kazalardaki etkinliği Kanıta Dayalı Akıl Yürütme yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Böylelikle tedbirlerin uygulanması halinde etkisinin nasıl olacağına yönelik sayısal bir fizibilite yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzer Havuz, Gemi Havuzlanma, Bulanık Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Kanıta Dayalı Akıl Yürütme

PhD. Thesis

SUMMARY

PROBLEMS IN SHIP DOCKING OPERATIONS AND SAFE DOCKING OPERATIONS

Mehmet YAHŞI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Maritime Transportation and Management Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Özkan UĞURLU
2024, 128 Pages

Accidents occurring in ship docking operations negatively affect the maritime sector and other industries related to this sector. Therefore, revealing fixed and variable risks in ship docking operations and determining up-to-date risk control options are necessary to ensure safety and sustainability in the maritime sector. In this study, the problems encountered to date in floating docks, where most of the ship docking operations are carried out, were analyzed qualitatively and quantitatively. Fuzzy Fault Tree Analysis and Event Tree Analysis approaches were used in the analyses, respectively. As a result of the study, it will be possible to reduce accidents by increasing awareness of the clog problem in the ship docking operations examined, possible loss of life, property loss and environmental pollution will be reduced, contributing to safety in the maritime sector. Additionally, because of the study, measures to prevent accidents in floating docks were presented. The effectiveness of the measures offered for ship docking operations in floating docks in accidents was analyzed with the Evidence-Based Reasoning approach. Thus, a numerical feasibility study was conducted to determine what the impact of the measures would be if implemented.

Key Words: Floating Docking, Ship Docking, Fuzzy Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, Evidential Reasoning

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye'de Faal Tersaneler	3
Şekil 2. En Yaygın Kullanılan Takarya Düzeni.....	5
Şekil 3. Kuru Havuz Özellikleri.....	8
Şekil 4. Hidrostatik Kuvvetleri Gösterilen Kütle Çekimli Kuru Havuz	9
Şekil 5. Basınç Hafifletilmiş Kuru Havuz	10
Şekil 6. Drenaj Sistemli Kuru Havuz.....	10
Şekil 7. Yüzer Havuz Bileşenleri.....	12
Şekil 8. Rennie (Duba) Tip Yüzer Havuz.....	13
Şekil 9. Sandık Tip Yüzer Havuz	14
Şekil 10. Bölme Tip Yüzer Havuz.....	15
Şekil 11. Dalış Derinliği	20
Şekil 12. 2014-2021 Dönemi Kaza Olaylarının Yüzdesi.....	23
Şekil 13. Örnek bir hata ağacı düzeni	30
Şekil 14. Üçgensel üyelik fonksiyonu	35
Şekil 15. Örnek kaza senaryosu şeması	40
Şekil 16. Örnek bir olay ağacı analizi ve sonuçları	43
Şekil 17. Örnek ER model hiyerarşik yapı ve alternatifleri.....	47
Şekil 18. Çalışma aşamalarının sistematik şeması	63
Şekil 19. Havuz kazalarının Hata Ağacı Analizi Yapısı.....	71
Şekil 20. Pompa çalışmaz ve valf arızası Hata Ağacı Analizi	72
Şekil 21. Takarya problemi Hata Ağacı Analizi.....	73
Şekil 22. Çalışmada kullanılan olay ağacı yapısı.....	74
Şekil 23. FFTA kök sebepler dağılımı.....	90
Şekil 24. Anormal Haggıng/Sagging	91
Şekil 25. Halatın Aşırı Yüke Binmesi.....	92
Şekil 26. Gemi İrgatı Arızası	92
Şekil 27. Valf Hidrolik Devre Kaçağı.....	93
Şekil 28. Gemi Balast Sistemi Hidrolik Kaçağı.....	93
Şekil 29. Valfe yabancı madde girmesi	94
Şekil 30. Havuz Kazası Hata ağacı esas alınarak oluşturulmuş ER yapısı.....	100

Şekil 31.	Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı kök sebepleri üzerindeki performans dağılımı	104
Şekil 32.	Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı kök sebepleri üzerine dağılımı.....	105



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye'de Faaliyet Gösteren Kuru Havuzlar	11
Tablo 2. Türkiye'de Faaliyet Gösteren Yüzer Havuzlar	15
Tablo 3. Boolean cebirinin asli unsurları	28
Tablo 4. Hata ağacı analiz yöntemine kullanılan semboller	28
Tablo 5. Havuz kazalarında etken olan kök sebepler.....	64
Tablo 6. Uzmanların ağırlık skor hesaplama yöntemi	68
Tablo 7. Dilsel ölçüm skalası ve üçgen bulanık sayı değerleri.....	69
Tablo 8. Havuz kazaları değerlendiren uzmanların ağırlık değerleri.....	76
Tablo 9. Temel olayların uzman değerlendirme skalası	78
Tablo 10. Temel olay BE5 uzman görüşü toplama aşaması hesap değerleri.....	80
Tablo 11. Uzmanların ortalama ve göreceli anlaşma değerlerinin bulguları.....	80
Tablo 12. Konsensüs katsayısı (CC) bulguları.....	81
Tablo 13. Temel olay BE5 benzerlik fonksiyonları değerleri hesaplamaları	82
Tablo 14. Temel olaylara ait bulanık olasılık skoru değerleri	85
Tablo 15. Temel olayların bulanık başarısızlık olasılığı değerleri.....	86
Tablo 16. BE için FV-I ve Bulanık Başarısızlık Olasılığı Hesaplamaları	87
Tablo 17. Minimum kesme setleri CS-I değerleri.....	88
Tablo 18. Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı kök sebepleri üzerindeki dağılımı.....	102
Tablo 19. Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı alt seviyeler üzerindeki performansı.....	103

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Ortalama Anlaşma
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AD	: Az Düşük
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
A.Ş.	: Anonim Şirket
AY	: Az Yüksek
BE	: Temel Olay
CC	: Konsensüs Katsayısı
CS	: Kesme Setleri
CFP	: Net Başarısızlık Olasılığı
ÇD	: Çok Düşük
ÇY	: Çok Yüksek
D	: Düşük
DWT	: Detveyt Tonaj
ER	: Kanıta Dayalı Akıl Yürütme
ET	: Olay Ağacı
ETA	: Olay Ağacı Analizi
FTA	: Hata Ağacı Analizi
FFP	: Başarısızlık Olasılığı
FFTA	: Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Analizi
FPS	: Bulanık Olasılık Puanı
FSA	: Resmi Emniyet Değerlendirmesi
GM	: Metasantr Yükseklik
HOF	: İnsan ve Organizasyonel Faktörler
IDS	: Akıllı Karar Sistemi
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
m	: Metre
MAC	: Denizcilik ve Sahil Güvenlik Ajansı
MAUT	: Çok Kriterli Yarar Teorisi
MCs	: Minimum Kesim Setleri

MSC	: Deniz Güvenlik Komitesi
MCDA	: Çok Kriterli Karar Analizi
O	: Orta
PRA	: Olasılık Risk Değerlendirmesi
PSC	: Liman Devleti Kontrolü
R	: Reel Sayılar Kümesi
RA	: Değişken Anlaşma
TE	: Tepe Olay
TFN	: Üçgen Bulanık Sayılar
TZFN	: Yamuk Bulanık Sayılar
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sipariş Performansı Tekniği
V-FIM	: Vessely Fussel Importance Measure
W	: Uzmanların Ağırlık Faktörü
Y	: Yüksek
yy	: Yüz Yıl

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Gemi bakım ve onarımı son derece karmaşık bir iştir, bu da önemli sayıda işlemin paralel olarak gerçekleştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir (House, 2016; Mazurkiewicz, 1981). Çok sayıda işlemin paralel olarak gerçekleştirildiği bu tür büyük işletmelerde süreçler genellikle insan operatörler ile teknik sistemler arasındaki yoğun ve prosedürlerle düzenlenen karmaşık ve dağıtılmış etkileşimlere bağlı işletilmektedir (İzci vd., 2022; Liu vd., 2022). Tersanelerde çeliğin üretim süreci boyunca elleçlenmesi ve işlenmesi için en çok tesis ve alana ihtiyaç duymaktadır (Barlas, 2012; Barlas & İzci, 2018). Genel olarak tersanelerde mekanik, elektrik, çelik kumlama, havuzlama, boyama ve diğerleri gibi özel atölyeler ve alanlar bulunmaktadır (Çelik vd., 2009b; Harren, 2010).

Havuzlanma, geminin yaşam döngüsü içinde uygun teknik durumda tutulmasına doğrudan etkisi olan bir tür zorunlu faaliyettir (Kaup vd., 2018; Singh, 2013). Havuzlanma periyodundaki ana faaliyetleri ise; yıkama, kumlama, kaplama, deniz sandığı temizliği, uygun söküm, cilalama, kuyruk şaftı ve stern tüp contalarının kontrolü gibi rutin havuz işleri olarak sıralanabilmektedir (Çelik & Er, 2006; Çelik vd., 2009b; Singh, 2013). Havuzlanma operasyonlarında bazı sorunlar ve ölümlü kaza raporları bulunmaktadır (Hollnagel & Goteman, 2004; House, 2016; Kaup vd., 2018; Wasalaski, 1982). Amerika Birleşik Devletleri İstatistik Bürosu'na göre, tersaneler dünyadaki en riskli işletmelerden biri olmaya devam etmektedir. Türk tersanelerinde ise durum: 2004 ile 2014 yılları arası, 126 ölümlü kaza ile diğer endüstri gruplarına oranla 3,5 katı fazla ölümlü kaza meydana gelmiştir (Barlas, 2012; Barlas & Çelebi, 2014; Barlas & İzci, 2018).

Kazalar; kişilerin kontrolünde olmaksızın, can-mal kaybı ve/veya çevre kirliliği olarak karşımıza çıkan istenmeyen olaylardır (Hollnagel, 2008; Hollnagel vd., 2006). Küresel deniz taşımacılığı emniyetini sağlamak maksadıyla, ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından düzenlemeler devamlı yayımlanmaktadır (Heij vd., 2011; Hetherington vd., 2006). Deniz kazalarının deniz emniyetine olan tehdidini, yasal düzenlemelere ek olarak alınan tedbirler ile tam olarak ortadan kaldıramamaktadır (Akhtar & Utne, 2014; Chauvin vd., 2013; Hetherington vd., 2006; Macrae, 2009; Uğurlu vd., 2020). Bu kazalar sonuçları (ölüm, yaralanma, maddi kayıp ve çevre kirliliği) itibariyle denizcilik sektörüne ve bu sektöre bağlı

diğer endüstrilere de olumsuz yönde etki göstermektedir (Chauvin vd., 2013; Schröder-Hinrichs vd., 2012; Uğurlu vd., 2015; Yıldız vd., 2021). Bunun en yakın örneği, Tuzla'da özel bir işletmeye ait tersanede, 12.06.2023 tarihinde, meydana gelen kazadır. Ortalama her 10 günde bir geminin havuzlanma işleminin bitirildiği tersane yüzer havuzu bir ay boyunca kapalı kalarak maddi sebep olmuştur. Kazada can kaybı olmamasına karşın maddi kayıpla sonuçlanmış ve oluşan maddi kayıp sonucu ilgili özel işletmeye büyük zarar vermiştir.

1.2. Türkiye'de Gemi Yapım Endüstrisi

Gemi yapım endüstrisi, farklı endüstri ürünlerinin birleşiminden meydana gelen bir üretim endüstrisi olma özelliği sayesinde; yurt savunmasına eklediği yeni yapılan gemiler beraberinde eklediği stratejik önem, yabancı sermaye, teknoloji transferi, döviz girdisi, bakım-onarım hizmetleriyle deniz ticaret filosu desteği, yan sanayi gelişimi ve yan sanayisi ile yaklaşık olarak 1'e 7 oranında istihdam üreten bir endüstri kolu olarak karşımıza çıkmaktadır (Chou & Chang, 2004; URL-1, 2022; URL-2, 2024). Gemi inşa sanayisinin ana yapı taşı tersanelerdir (Yıldız, 2008). Tersanelerin asıl faaliyet konusu yeni gemi inşası veya tersaneye gelen gemilerin bakım onarım işleridir (İzci vd., 2022; Lu vd., 2018; Mazurkiewicz, 1981; Resmi Gazete, 2015; URL-1, 2022). Ülkemizin 600 yılı aşan bir tarihe sahip olduğu gemi yapım endüstrisinin mevcut durumu incelendiğinde; Özel işletmelerin 2024 yılı mart ayı itibariyle gemi, yat üretim ve onarım-bakım faaliyetleri ile uğraşan 85 adet aktif tersaneye sahip olduğu görülmektedir (URL-2, 2024; URL-7, 2024; Yıldız, 2008). Şekil 1'de görüleceği üzere bunların; Tuzla/İstanbul Tersaneler Bölgesi'nde 28 adedi, Altınova/Yalova'da 30 tane, Zonguldak'ta 9 tane, Körfez/Kocaeli'de 5 tane, Çanakkale'de 3 tane, Trabzon'da 3 tane, Samsun'da 1 tane, Kastamonu'da 2 tane, Adana, Hatay ve Ordu'da 1'er tane bulunmaktadır (URL-2, 2024).

Halihazırda kurulu tersanelerimize ait toplam kapasite 2011 yılında 3.600.000 DWT iken 2024 yılı mart ayı itibariyle 4.790.000 DWT'e çıkarak %33'lük bir büyüme sağlamıştır (URL-3, 2023). Türkiye gemi yapım endüstrisinde istihdam edilen işçi sayıları incelendiğinde 2011 yılı itibariyle 37.006 olan sayı 2023 yılı sonunda yaklaşık üçe katlanarak 94.057 sayısına ulaşmıştır (URL-4, 2024). Ülkemiz tersanelerinde 2011 yılında 13.100.000 DWT bakım onarımı yapılan Türk ve yabancı bayraklı gemi tonaj toplamı, 2023 yılında 41.000.000 DWT'e ulaşmıştır (URL-5, 2023). 2023 sonu itibariyle toplam ihracat 1,60 milyar ABD Doları olarak gerçekleşmiştir (URL-1, 2022; URL-6, 2023).



Şekil 1. Türkiye'de Faal Tersaneler

Gemi inşası, geniş açık yerleşim ve depolama alanları, makine atölyeleri ve idari binalar, büyük gezer vinçler ve yolları ve havuz inşa etme veya havuzlara aktarma gibi indirme araçları gerektirmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Çelik vd., 2009a). Havuzlar, her tür ve boyutta gemi ve su araç üretim, bakım ve onarımı ile tadilatlarından biri veya birkaçının yapıldığı kendine özel bağlama, erişim ve operasyonel gereksinimleri olan yerler olarak karşımıza çıkmaktadır (Becht & Hetherman, 2016; URL-1, 2022). Ülkemizde faaliyet gösteren izinli yüzer havuz sayıları; İstanbul'da 20 adet, Yalova'da 13 adet, Kocaeli ve Kastamonu'da 1'er adet olmak üzere toplamda 35 adettir. Ülkemizdeki faaliyet gösteren izinli yüzer havuzların toplam kaldırma kapasiteleri 648.387 ton'dur. Ülkemizde faaliyet gösteren izinli kuru havuz sayıları; İstanbul'da 8 tane, Yalova'da 2 tane ve Çanakkale 1 tane olmak üzere toplamda 11 tanedir (URL-8, 2023).

1.3. Havuz Çeşitleri ve Özellikleri

Havuzlar, bakım, revizyon ve onarım amacıyla bir geminin karinasına tam kuru erişim sağlayan yapılardır (Becht & Hetherman, 2016; House, 2016; Kar vd., 2019; Kaup vd., 2018; Mazurkiewicz, 1981). Havuzlar aynı zamanda geçici depolama veya uzun süreli bakımlar için gemilerin sudan karaya veya karadan suya taşınması için araç olabildiği gibi yeni inşa edilmiş gemilerin suya indirilmesi içinde kullanılabilmektedir (Becht & Hetherman, 2016; House, 2016). Türüne bakılmaksızın, etkili ve verimli işletilen bir havuzda aşağıdaki özellikler bulunmaktadır (Becht & Hetherman, 2016; House, 2016; Mazurkiewicz, 1981);

- Havuzdaki bir gemiyle personelin ve malzeme elleçlenmesinin kolaylığı için havuz içinde ve çevresinde yeterli alana sahiptir.
- Havuza ve havuzdaki gemiye hızlı ve etkili erişime sahiptir. Erişim araçlar ile yapılmaktadır. Havuzdaki geminin çevresinde kullanılmak üzere gezici iskele ve mobil kaldırma platformlarının kullanıma sunulmasıyla gemi onarımı daha verimli hale getirmektedir.
- İyi çalışma koşullarını sağlamak için yeterli ışık ve havalandırmaya sahiptir.
- Elektrik ve mekanik hizmetler gibi destek birimlere sahiptir. Su, basınçlı hava, buhar, kaynak ve kesme gazları için çıkışlar genellikle gemiye kolayca erişilebilmesi için servis istasyonlarında bulunur. Servis istasyonları genellikle yüzer havuzların kanat ve duba güverteleri boyunca girintili galerilerde veya kuru havuzların baş kısımlarında bulunur. Havuzda gemiye güç sağlamak ve geminin onarımı için elektrik soketleri bulunmaktadır.
- Ağır eşyalar ve ekipmanlar için malzeme taşıma sistemlerine ihtiyaç vardır. Vinçler, gemi onarımını ve donatımını verimli hale getiren önemli bir havuz özelliğidir. Vinçler, her türlü havuza hizmet vermek üzere yüzer havuzun kanat duvarlarında veya bitişikteki iskelede ve/veya kara alanında çalışabilir.
- Geminin havuza girip çıkması için etkili bir yöntem sağlanmalıdır. Havuzlar genellikle, havuz mürettebatının gemiyi havuza girerken kontrol etmesine ve onu takaryalar üzerinde doğru şekilde konumlandırmasına olanak tanıyan germe ırgatlar, bocurgatlar ve diğer halat taşıma donanımıyla donatılmıştır.
- Halatlara kumanda etmek için genellikle elektrikli veya elektrohidrolik ırgatlar kullanılır.
- Daha büyük kuru havuz ve yüzer havuzlardan bazıları, her bir yan duvarın iç tarafı boyunca yerleştirilmiş monoraylar üzerinde hareket eden merkezleme/çekme arabalarını kullanır. Bu arabalar, gemiyi havuzda ortalayabilen ve havuzlanma konumuna çekebilen ırgatlarla çekilen tel halatları kullanır.
- Uygun takaryalama sistemi sağlanmalıdır. Takaryalar, geminin ağırlığını desteklemek için kullanılırken gemiyi uygun bir yükseklikte tutar, böylece alt kısımda çalışma erişimi sağlanır ve karinasının büyük bir kısmı temizlik, onarım ve boyama için boş bırakılır. Ayrıca şiddetli rüzgarlar veya deprem kuvvetleri nedeniyle geminin devrilmesini önlemek için stabilite sağlarlar. Takaryalar, destek

sağlayan ancak geminin yerleşimindeki düzensizlikleri hesaba katacak şekilde elastik olarak esneyen bir şilte olarak düşünülebilir.

Gemilerin havuzlanma operasyonlarında takarya adı ile anılan destek ekipmanları ile dengede tutulmaktadır. Gemilerin havuzlanması işleminde en yaygın kullanılan takarya düzeni Şekil 2’de görüleceği üzere, omurga hattının her iki tarafına önceden bir sıra dengeleyici takarya konumlandırılmasıdır. Büyük takaryaların çoğu, geminin gövdesine karşı gerekli tamponlamayı sağlamak için beton veya çelik tabanlı ve ahşap veya kauçuk başlık parçalı kompozit yapıdadır. Havuz zeminindeki düzensizliklere karşı yastıklama sağlamak için takaryanın tabanına ahşap da eklenebilmektedir (Crandall, 1976).



Şekil 2. En Yaygın Kullanılan Takarya Düzeni

Aşağıdakiler de dahil olmak üzere birçok faktör gemilere hizmet sunacak havuz özelliklerinde etkilidir (Becht & Hetherman, 2016; Njumo, 2015):

- Havuzda hizmet verilecek gemilerin boyutları, ağırlık ve genel özellikleri.

- Mevcut arazi alanı, denizdeki alan, seyrüsefere elverişli kanallara veya açık denize yakınlık, gelgitler, akıntılar, topografya ve deniz dip yapı koşulları dahil olmak üzere, havuz ve ilgili kara tesislerinin bulunduğu alandaki koşullar.
- Havuzlanmanın amacı; Yalnızca yeni bir gemi inşa programının bir parçası olarak mı, uzun dönem gemi onarımları için mi, kısa dönem gemi onarımları için mi yoksa tüm bu amaçların bir kombinasyonu için mi kullanılıyor?

Havuzlanma operasyonu etkileyen faktörler arasında geminin özellikleri, havuzun özellikleri ve bazı durumlarda her ikisinin birlikte olması yer almaktadır (Crandall, 1976). Gemiler, denizde karşılaşılan streslere karşı her zaman dirençli yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır (Becht & Hetherman, 2016). Gemiler, çeşitli yükleme koşullarında suda dik ve stabil durumda yüzecek şekilde tasarlanmıştır (Becht & Hetherman, 2016). Gemilerin dalgalara karşı esnemeye direnmesine olanak sağlayan stifliği aynı zamanda makine, yakıt, yük vb. ağırlıkların dağılımlarından dolayı olmaktadır. Böylece gemiler havuzlandığı sırada omurgası takaryalar üzerinde düzgün bir şekilde durmaktadır (Singh, 2013). Gemilerin havuza alınmalarından önce havuzların mukavemet özellikleri dikkate alınmalıdır. Havuzların yapısından temele veya yüzer desteğe kadar yük dağılımı dikkate alınmalıdır (Harren, 2010). Havuzun güvenli bir şekilde kaldıracağı toplam yükü ve birim uzunluk başına yükü belirlemek için havuzun güvenli kaldırma kapasitesi iyi değerlendirilmelidir (Becht & Hetherman, 2016; Harren, 2010). Tüm havuzlarda olduğu gibi yüzer havuz kapasiteleri de toplam yük ve birim uzunluk başına yük cinsinden verilmektedir. Gemi havuzlanma operasyonunda stabilite kritik bir unsurdur ve yüzer havuz tasarımında ve işletilmesinde dikkate alınmalıdır (Becht & Hetherman, 2016; Crandall, 1976; Mazurkiewicz, 1981).

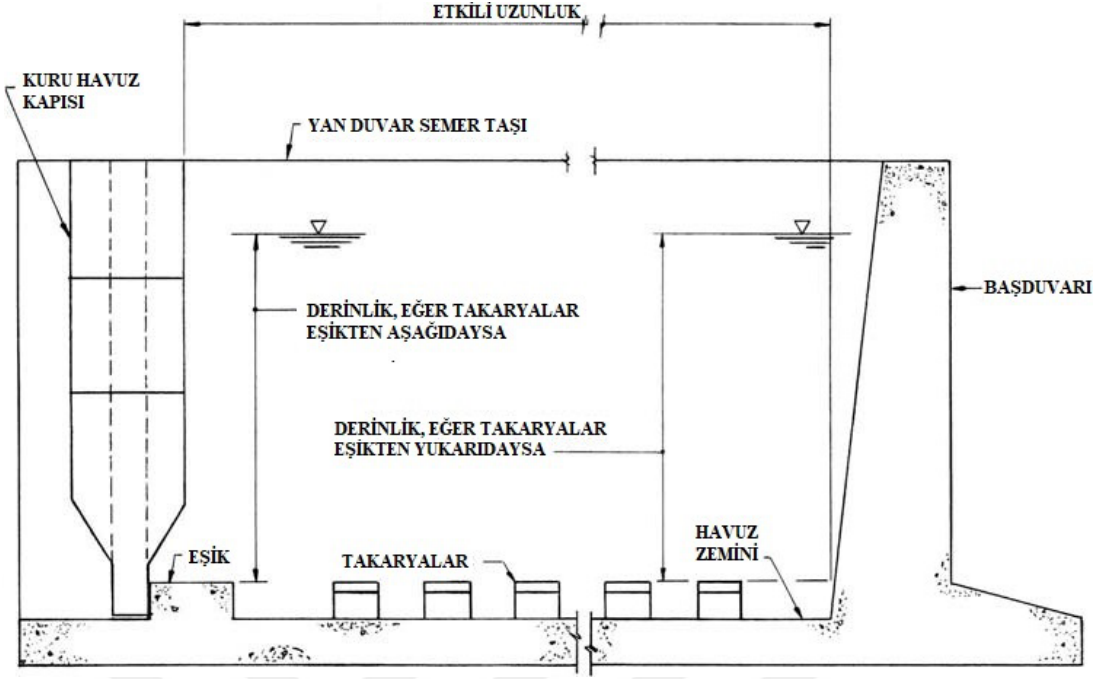
1.3.1. Kuru Havuzlar ve Özellikleri

Bir havza veya mezarlık adı ile anılan kuru havuz, bir tarafı denizle serbest iletişim içinde olan, yeryüzündeki bir kazı veya çöküntüdür (Becht & Hetherman, 2016; Harren, 2010). Gemi kuru havuzlanmalarında deniz tarafı bir kapı ile kapatılır ve havuzdaki su dışarı basılır (Becht & Hetherman, 2016; Rehler & Bottger, 1964). En eski kuru havuzlardan biri 1400'lerin sonlarında Portsmouth, İngiltere'de inşa edilmiştir (Colson, 1894; Cornick, 1962; Fontana, 2013; Hepburn, 2003). En eski kuru havuzların bazıları tuğla veya beton zemine sahip ve gelgiti engellemek için bir eşik kenarına dayanan bir kapı donatılmış ahşapla

kaplı basit kazılardı (Rehler & Bottger, 1964). Gemiler yüksek gelgitle içeri girer ve giriş kapısı kapatılır, gelgit geriledikçe kuru havuz kendiliğinden boşalır ve gemi kendisi için önceden hazırlanmış takaryaların üzerine oturmaktadır (Colson, 1894; Cornick, 1962; Mazurkiewicz, 1981). Gelgitin az olduğu veya hiç olmadığı yerlerde deniz suyu dışarıya pompalanması gerekmektedir (Hepburn, 2003; Mazurkiewicz, 1981; Rehler & Bottger, 1964). Gemiler büyüdükçe kuru havuzların inşaatı önemli bir inşaat işi haline gelmiştir. Kuru havuz duvarlarının kaplanması için masif duvarcılık benimsendi ve suyun hızlı bir şekilde boşaltılması için büyük pompalar eklenmiştir (Becht & Hetherman, 2016; Hepburn, 2003).

Günümüz kuru havuzları öncekilerle karşılaştırıldığında boyutlar, malzemeler, inşaatı detayları ve ekipmanın karmaşıklığı açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ancak temel çalışma ve tasarım prensipleri hala aynıdır (Becht & Hetherman, 2016; Mazurkiewicz, 1981; Rehler & Bottger, 1964). Genel olarak kuru havuzlar büyük gemiler için en uygun olanıdır (Rehler & Bottger, 1964). Malzeme ve inşaat yöntemlerindeki gelişmeler ve ilerlemeler, kuru havuzların boyut ve sınırlarını sürekli olarak genişletmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Hassani, 1973; Millard & Hassani, 1971). 400 m'den uzun, 60 m'den geniş gemi inşa ve gemi onarım havuzları her tür ve her koşulda gemiyi elleçleyebilecek kapasitedeki kuru havuzlar yaygınlaşmaktadır (Hassani, 1973; Krauss & Plude, 1972; Tate, 1961). Şekil 3'te gösterilen bir kuru havuzun temel özellikleri arasında zemin, yan duvarlar, baş duvar ve havuz kapısı yer almaktadır (Becht & Hetherman, 2016; Mazurkiewicz, 1981; Rehler & Bottger, 1964).

Kuru havuzlar yapılarına göre üç temel türleri vardır bunlar sırasıyla; kütle çekimli, yere sabitlenmiş ve alt drenajlı (basınç hafifletilmiş) kuru havuzlar. Bulundukları bölgedeki yeraltı suyunun neden olduğu kaldırma kuvvetinin etkilerini ortadan kaldırmak için farklı yöntemlere dayanmaktadır (Becht & Hetherman, 2016; Harren, 2010; Mazurkiewicz, 1981).

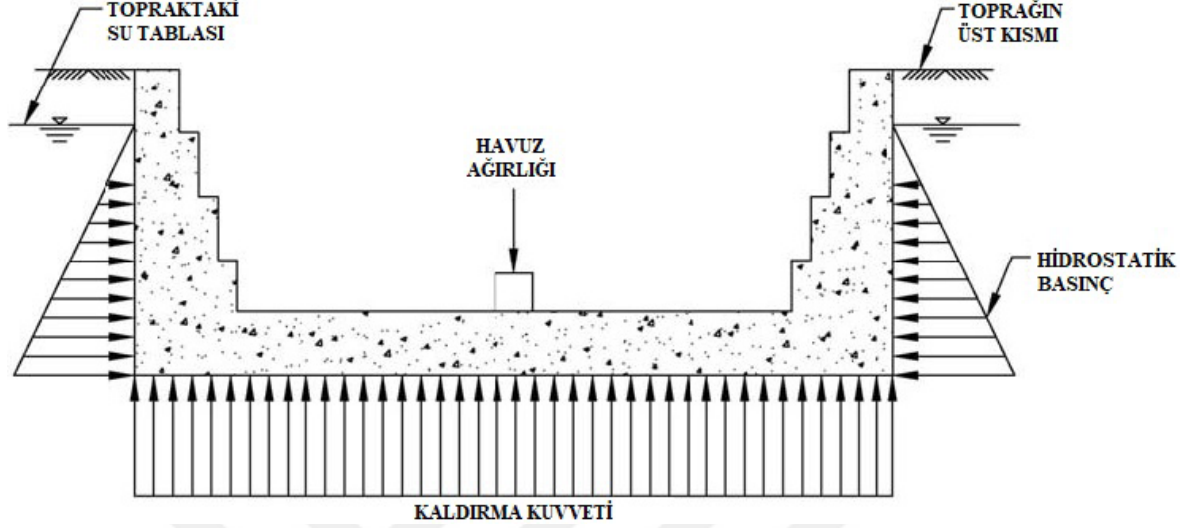


Şekil 3. Kuru Havuz Özellikleri

Kütle çekimli kuru havuz boşken zeminin alt kısmına etki eden yeraltı suyunun yukarı doğru yaptığı basıncın üstesinden gelebilecek yeterli kütleyle sahiptir. Kütle çekimli kuru havuzlar, monolitik çerçeveler veya zemin ile levhalar yan duvarlardan ayrı inşa edilebilmektedir. Ayrıca kendi ağırlıkları kaldırmaya dayanacak kadar yeterli olan ağır döşeme levhalarıyla da inşa edilebilmektedir. Şekil 4'te hidrostatik kuvvetlere sahip kütle çekimli kuru havuz gösterilmektedir (Cornick, 1962; Mazurkiewicz, 1981; Tate, 1961). Kütle çekimli kuru havuzlar genellikle önemli genişlikteki kuru havuzlarda tercih edilir; ancak çok derin kuru havuzlarda dip beton levhaların kuru koşullarda atılması esnasında yeraltı suyunun düşürülmesi zorluğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca derinlik arttıkça dip beton levhaların kalınlığı da önemli ölçüde artmaktadır (Colson, 1894; Hassani, 1973; Hepburn, 2003).

Yere sabitlenmiş kuru havuz tasarımında hidrostatik yükselmeye karşı yapının kalıcı ağırlığına ek olarak bir tür deniz demiri kullanılmaktadır. Zemin koşulları, döşeme levha ağırlıkları için taşıma kapasitesi sağlayabilecek ve toprağa gömülü kazıklarda ve/veya deniz demirleri gerilim oluşmasına izin verecek şekilde dizayn edilmektedir (Colson, 1894; Cornick, 1962; Tate, 1961). Yere sabitlenmiş tip kuru havuz tasarımında, yükselmeye karşı yeterli bir emniyet payının sağlanmasına özel dikkat gösterilmektedir (Hassani, 1973). Yere sabitlenmiş tip kuru havuzlarda emniyet faktörü olarak, demirleme sisteminin tasarımı için

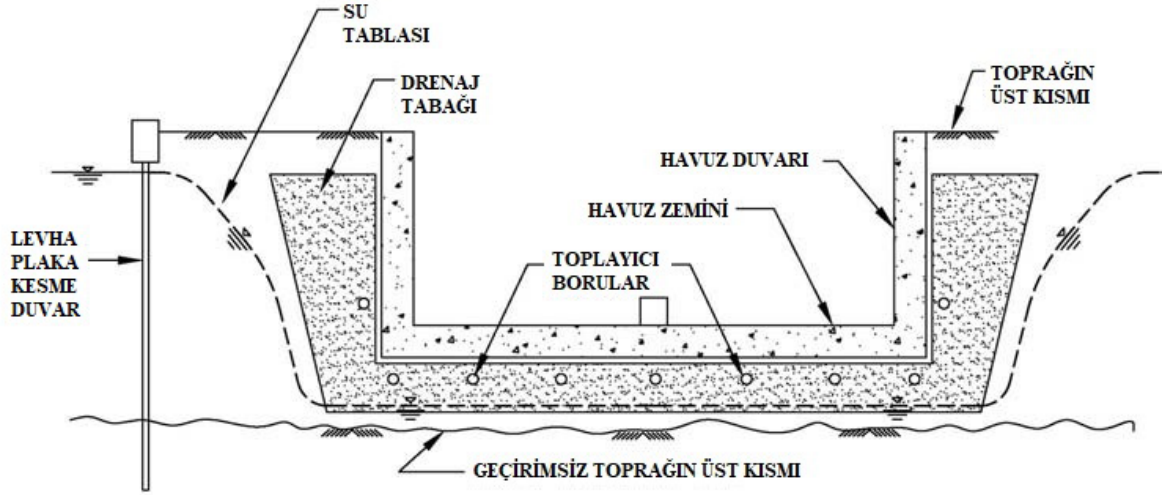
hidrostatik yük genellikle aşağı doğru yüklerin 1,3 katı kaldırma kuvveti olarak kullanılmaktadır (Colson, 1894; Harren, 2010; Tate, 1961).



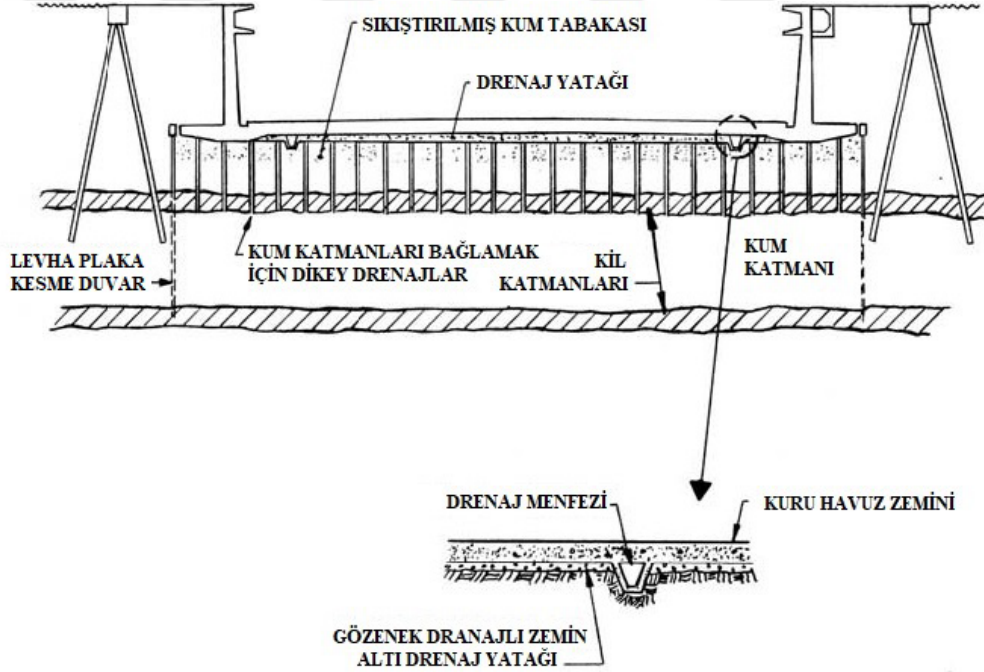
Şekil 4. Hidrostatik Kuvvetleri Gösterilen Kütle Çekimli Kuru Havuz

Alt drenajlı veya basınç hafifletilmiş kuru havuzların tasarımında, kuru havuzun etrafındaki su herhangi bir yükselme basıncı oluşturmayacak şekilde yeterince alçaltılmaktadır (Hassani, 1973; Millard & Hassani, 1971). Toprak parametrelerinin kesin olarak bilinmesi önem arz etmektedir (Hassani, 1973; Hepburn, 2003). Geçirimsiz tabakanın sürekliliğine ve tam derinliğe ilişkin verilerin yanı sıra yatay ve düşey geçirgenlik katsayıları belirlenmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Colson, 1894). Basınç tahliyeli bir kuru havuz tamamen boşaltılabilir, kısmen boşaltılabilir veya geçirimsiz toprak üzerine yerleştirilebilmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Hassani, 1973). Şekil 5'te basınç hafifletilmiş bir kuru havuzun kesiti gösterilmektedir.

Taban ve duvarlardaki basıncın tahliye edildiği kuru havuzlarda, yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesini sağlayan harici drenaj sistemi kurulmaktadır. Drenaj sistemi kuru havuzun pompa istasyonuna bağlanan bir dizi boru ve menfezden ibarettir. Basıncın yalnızca zemin döşemesi altında tahliye edildiği kuru havuzlarda, drenaj sistemine su akışı kuru havuzun duvarlarının altına montaj yapılmış levha plaka kesme duvarı tarafından kontrol edilir, kesme duvar geçirimsiz katmana kadar uzanmaktadır. Bu tip kuru havuz Şekil 6'da gösterilmiştir (Mazurkiewicz, 1981; Millard & Hassani, 1971).



Şekil 5. Basınç Hafifletilmiş Kuru Havuz



Şekil 6. Drenaj Sistemli Kuru Havuz

Ülkemizde faaliyet gösteren kuru havuzların en ve boylarına göre tam listesi Tablo 1'de gösterilmiştir (URL-8, 2023).

Tablo 1. Türkiye'de Faaliyet Gösteren Kuru Havuzlar

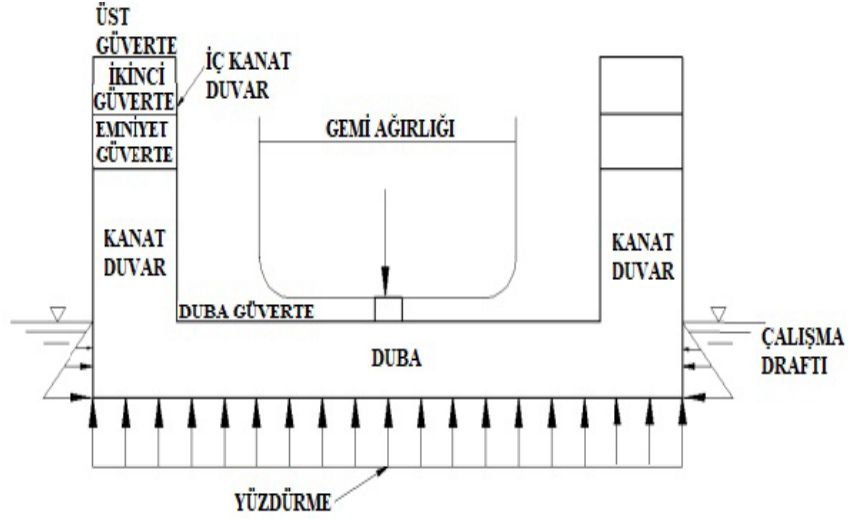
No	Tesis Adı/İşletmecisi	Boy (m)	Eni (m)
1	İstanbul Şehir Hatları (Haliç)	109	22,5
2	İstanbul Şehir Hatları (Haliç)	81,5	17
3	İstanbul Şehir Hatları (Haliç)	151	16
4	Ursa Gemicilik Bakım Onarım Tersanecilik San. Tic. A.Ş.	56	14
5	İstanbul Tersane Komutanlığı (Pendik Tersanesi)	300	69
6	Tuzla Gemi Endüstrisi A.Ş.	300	53
7	Sedef Gemi İnşaatı A.Ş.	315	50
8	Deniz Endüstrisi A.Ş.	210	37
9	Sefine Denizcilik Tersanecilik Turizm San. ve Tic. A.Ş.	240	40
10	Beşiktaş Gemi (A-10)	235	40
11	İçdaş Çelik Enerji Tersane ve Ulaşım San. A.Ş.	370	70

1.3.2. Yüzer Havuzlar ve Özellikleri

Bir tersanedeki en çok yönlü üretim birimlerinden biri, karada daha az yer gerektiren ve aynı zamanda çalışan geminin yanaşma ve denize indirme işlemlerini de sağlayan yüzer havuzdur (Eyres, 2007; Tupper & Rawson, 2001; Watson, 2002). Yüzer havuzlar, bir gemiyi sudan kaldırmak için yeterli boyutlara, dayanıklılığa, yer değiştirmeye ve stabilizeye sahip yüzer yapılardır (ABS, 2022; Shchedrolosiev vd., 2018; Stasiak, 2005; Sundaresan vd., 2017). Yüzer havuzların kaldırma kapasiteleri birkaç yüz tondan 100.000 tonun üzerine kadar, boyları 300 m'den daha uzun ve genişlikleri de 60 m'den daha genişlikte olmaktadır (Becht & Hetherman, 2016; Sundaresan vd., 2017). Yapılarında ahşap, demir, çelik, betonarme ve ahşap-çelik kombinasyonu kullanılmaktadır (Heger, 2022; Jiang vd., 2020; Sundaresan vd., 2017). Günümüzde yüzer havuzlar tamamen kaynaklı çelik konstrüksiyondan yapılmaktadır (Hepburn, 2003; Mazurkiewicz, 1981).

İlk yüzer havuz kullanımı gelgitsiz Baltık denizinde 17. yy. civarında olduğu bildirilmektedir. Bir gemi kaptanı, gemisini onarmak için *Camel* adında gemisinden daha büyük bir hurda gemi aldı, güverteleri ve perdeleri kaldırdı ve gövdesini kesti. Kendi gemisini daha büyük gövdeye yüzdürdükten sonra gövdeyi perdeledi ve içindeki deniz suyunu boşalttı. *Camel*, içindeki daha küçük geminin gövdesini yüksekte ve kuru vaziyette

tamire erişebilir şekilde yüzdürmekteydi (Becht & Hetherman, 2016). Bundan bir süre sonra yüzer havuzlar ya gemi gövdelerinden yada gemi gövdesi şeklinde yapılmaya başlandı (Hepburn, 2003; Wasalaski, 1982). 18. yy. ortalarına ve sonlarına doğru yavaş yavaş yüzer havuzlar U şeklinde ve dikdörtgen veya kutu şeklinde yapılmaya başlandı (Stasiak, 2005). İlk başta inşası için yalnızca ahşap erişebilirdi, ancak inşa malzemesi olarak demir ve sonunda çeliğin kullanılmaya başlanması ile yüzer havuzlar gelişmiş yetenek ve artan boyutlara sahip olmuştur (House, 2016; Shchedrolosiev vd., 2018). Şekil 7’de görüleceği üzere tipik olarak iki ana bölümden oluşmaktadır: duba ve kanat duvarlar (Becht & Hetherman, 2016; Crandall, 1976).

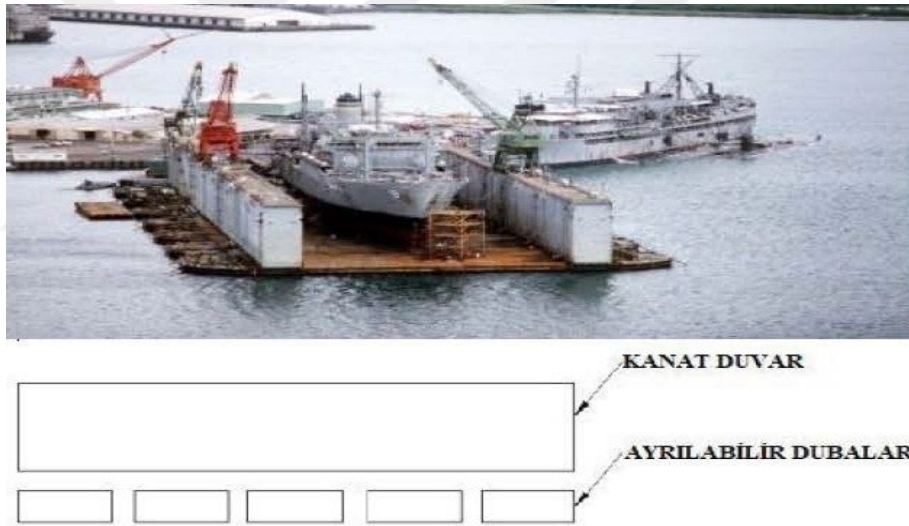


Şekil 7. Yüzer Havuz Bileşenleri

Yüzer havuz su giriş vanalarının açılması ve havuzu batırmak için yer çekimi ile dahili balast tanklarının deniz suyu ile doldurulması yoluyla çalıştırılmaktadır (Heger, 2003; Mazurkiewicz, 1981). Yüzer havuz dibe doğru batarken, ayrı ayrı balast tanklarının deniz suyu basma hızının değiştirilmesi ile havuzun yan yatması, trimi, eğilmesi ve bükülme momenti kontrol edilmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Heger, 2003). Balastı tahliye etmek için pompalar kullanılmaktadır (House, 2016; Singh, 2013). Yüzer havuzlar, yan yatmış veya trimi olan gemilerin (hasarlı gemiler) havuzlanmasını kolaylaştırmak için yana yatık veya trimli olarakta çalışmaktadır (Sundaresan vd., 2017). Bu durum takarya yükünü azaltabilir, ilk temas anındaki gemi stabilitesi sorunlarını azaltabilir veya ortadan kaldırmaktadır (Becht & Hetherman, 2016). Yüzer havuzdan daha uzun olan gemiler, baş ve/veya kıçtan uzatılarak havuzlanabilmektedir (Sundaresan vd., 2017). Deniz dip

taraması esnasında yüzer havuzun yeri kolaylıkla değiştirilebilmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Harren, 2010). Yüzer havuzlarda gemi havuzlanması operasyonunun özel bilgi ve özen gerektirmesi dezavantajlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Becht & Hetherman, 2016; Singh, 2013). Buna çelik yapıdaki yüksek bakım gereksinimine eklenmektedir (Rehler & Bottger, 1964; Ward, 2000). Yüzer havuzlar; duba yada “Rennie” tip, sandık tip ve bölme tip olmak üzere üç tipte yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır (Sundaesan vd., 2017).

1862 yılında George Rennie adındaki cesur bir mühendis, İspanyol donanması için Kartaca kentine parçalar halinde gönderilen ve montajı yapılan demir bir yüzer havuz tasarlamıştır. Tamamı dövme demirden oluşan yüzer havuzun, güverteleri, destek basamakları ve usturmaçaları ahşap özelliklerine sahiptir (Lehmann, 2002). Duba veya “Rennie” tip adı ile anılan bu yüzer havuzlar Şekil 8’de gösterildiği gibi bir dizi sökülebilir dubayı kapsayan çelik kanatlardan oluşmaktadır (Shchedrolosiev vd., 2018; Tupper, 2013).

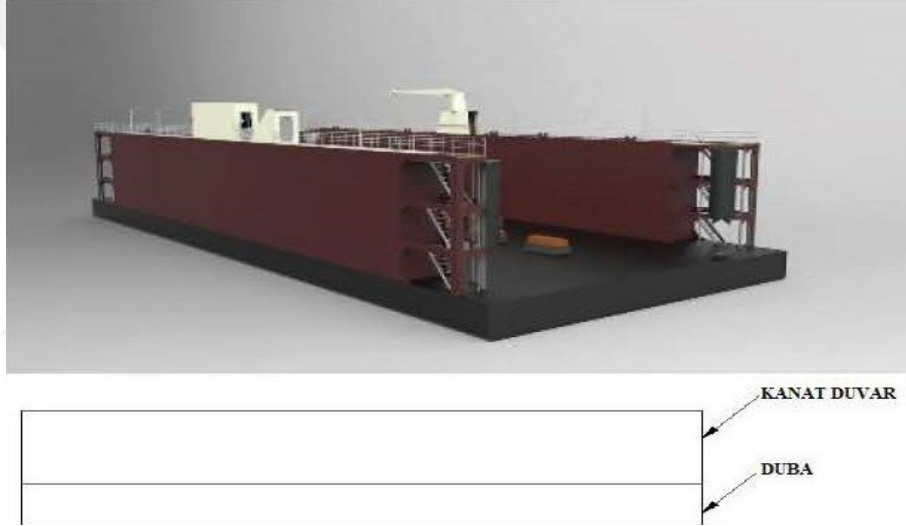


Şekil 8. Rennie (Duba) Tip Yüzer Havuz

Duba bölümleri genellikle kanatlardan ayrılarak 90 derece döndürülerek ve geri kalan bölümlere kendiliğinden kenetlenmektedir (House, 2016; Wasalaski, 1982). Bu tür yüzer havuz genellikle boyuna yönde tek parçalı yüzer havuzlara göre daha zayıftır çünkü sadece kanat duvarları boyuna mukavemet açısından etkilidir (Hepburn, 2003; Singh, 2013). Boyuna mukavemetin düşük olması nedeniyle havuz daha küçük parçalara ayrılmadıkça okyanusta çekilmesi genellikle pek mümkün olmamaktadır (Burlacu vd., 2017; G. Yang vd., 2013). “Rennie” tip yüzer havuzların yapısı genellikle tek parçalı yüzer havuzlardan ağırdır çünkü boşluklarda çift enine perdeler ihtiyacı vardır (her duba bölümü için uç perdeler) ve

gerekli boyuna mukavemeti elde etmek için kanat duvarlarının daha ağır olması gerekmektedir (Becht & Hetherman, 2016; Crandall, 1976; Lehmann, 2002).

1868’de Campbell ve Johnston tersanesi, Bermuda’daki Kraliyet Donanma Tersanesi’nde kullanılmak üzere ilk demir gövdeli yüzer havuzu hizmete sunmuştur (Burlacu & Domnisoru, 2019). 104 metre uzunluğunda ve 26 metre genişliğinde olan HM Yüzer Havuzu 11.000 ton deplasman kaldırma kapasitesi ile herhangi bir gemiye yetecek özellikleri bulunmaktadır (Becht & Hetherman, 2016). Tasarımcılar dövme demirden yapılmış yüzer havuzun başarısından sonra Şekil 9’da gösterilen tipte sandık, kutu veya tek parça tip yüzer havuz adı ile anılan havuzlara yönelmiştir (Morra, 2011; Sundaresan vd., 2017).



Şekil 9. Sandık Tip Yüzer Havuz

Sandık tip yüzer havuzlar sürekli kanat duvarları ve duba ile tek parça halinde inşa edilmektedir (Becht & Hetherman, 2016). Bu tip yüzer havuz derinliği boyuna bükülmede etkili olduğundan diğer tiplere göre daha hafif ve daha sağlam olabilmektedir (Singh, 2013; Sundaresan vd., 2017).

Tüm dünyada demir dikdörtgen kesitli yüzer havuzlar 19. yy.ın sonlarına doğru birincil yüzer havuz yapısı olarak yerini almıştır (Felski vd., 2014; Sundaresan vd., 2017). Uzunluğu boyunca yapısal sürekliliği olmayan yüzer havuz, bölme tip yüzer havuzdur, Şekil 10’da görüleceği üzere hem duba hemde kanat duvarları sürekli değildir (Mazurkiewicz, 1981; Wasalaski, 1982).



Şekil 10. Bölme Tip Yüzer Havuz

Bölme tip yüzer havuzlar hareketli bağlantılarla birleştirilir ve “Rennie” tip yüzer havuz gibi davranmaktadır (Felski vd., 2014; Sundaresan vd., 2017). Ek olarak bu tür yüzer havuzlar balast alma ve boşaltma işlemleri eğilme ve bükülme nedeniyle çok kritik olabilmektedir ve bölümler sabitlenmedikçe veya başka şekilde bağlanmadıkça boyuna gerilimi taşıyamaz durumdadır (Mazurkiewicz, 1981). Bölmeli tip yüzer havuzlarda tuzlu su aşındırıcı özelliği sayesinde suyun altındaki hareketli bağlantılara ciddi sorunlar yaratmakla kalmamış olup, aynı zamanda su hattının altındaki dubaların iç kısmına da zarar vermektedir (Burlacu vd., 2017). Tersine yüzer havuzun su hattının üzerinde kalan kısımlar yani üst kanat duvarları nispeten az aşındığı gözlemlenmiştir (Harren, 2010; Wasalaski, 1982).

Ülkemizde faaliyet gösteren 35 yüzer havuzun toplam kaldırma kapasitesi 648.387 tondur ve ortalama yaş ise 1982’dir, yüzer havuzlara ait diğer özellikleri ile tam listesi Tablo 2’de gösterilmiştir (URL-8, 2023).

Tablo 2. Türkiye’de Faaliyet Gösteren Yüzer Havuzlar

No	Havuz Adı	Boy (m)	En (m)	Kaldırma Kapasitesi (Ton)	İnşa Yılı
1	Dentaş Havuz	128	30,1	7.000	1991
2	Gisan Dock	155	32	9.000	2012
3	Çeksan	130	29	7.000	1958
4	Myo	190	41,6	13.500	1983

Tablo 2.'nin devamı

5	Art Yüzer Havuz	219,5	45,14	20.000	1981
6	Green Dock 1	281	62	45.000	1980
7	Kuzey Star 2	217,5	43	18.000	1963
8	İst Ter-1	95	28,4	3.600	1969
9	Fatih 53	122,6	38,4	7.000	1967
10	Desan 3	139,5	35,51	8.500	1980
11	Desan 2	212,2	51,2	30.000	1914
12	Desan	171,6	35,9	17.000	1939
13	Havuz 9	192	37,38	14.000	1995
14	Havuz 28	223,97	45	28.000	1961
15	Hidrodinamik	115,3	22	2.500	1965
16	Çindemir Havuz	111,74	27,8	5.000	1964
17	Tuzla Havuz	350,47	79,26	65.000	1998
18	Havuz-Ty	66	27	2.500	2016
19	Tersan	130	30,5	6.500	1958
20	Tekno Marin Dock	195	39,6	13.000	1960
21	Beşiktaş Yüzer Havuz	353,28	66	72.000	2007
22	Beşiktaş Yüzer Havuz 3	285	54,6	52.500	1956
23	Doğruyol Tersanecilik	128	30,2	5.500	1993
24	Hatsan Dock 3	240	46	25.000	2022
25	Beşiktaş Yüzer Havuz-2	227,5	43	22.500	1974
26	Hicri Ercili	96	30,1	4.500	1978
27	Dock6	183,9	33,6	10.000	1968
28	Özata Dok 2	264	52	28.000	2021
29	Sanmar Usta	83,8	33,5	3.000	2015
30	Sfn Dock 2	282,2	57	36.857	1971
31	Seltaş	260	45	7.213	2020
32	Tersan-2	178	35	9.000	2013
33	İbrahim Nuh Paksu	309,4	60,9	43.717	2019
34	Dock Ege	68	38	2.000	1973
35	Dock-1	117,8	28,4	4.500	1969

TOPLAM 35 YÜZER HAVUZ 648.387 1982

1.4. Yüzer Havuzlara İlişkin Mevzuatlar

Yüzer havuzlara ilişkin mevzuatlar; Ulusal ve uluslararası mevzuatlar, kurallar ve düzenlemeler, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), bayrak devletleri ve klas kuruluşları tarafından kabul edilmiş, yürürlüğe alınmış ve uygulanmıştır. Bu mevzuatlar sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

1.4.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)

IMO, uluslararası denizcilik hizmetlerinin hem kullanıcısı hem de sağlayıcısı olan üye ülkeler tarafından yapılan öneriler doğrultusunda geliştirilen ve genel olarak rızaya dayalı olarak benimsenen, IMO sözleşmeleri kodları ve diğer araçlarda standartları belirleyen uzmanlaşmış bir Birleşmiş Milletler kurumunu ifade etmektedir (Aristo, 2012). Bunlar uluslararası kabul görmüş standartlardır. Bu standartlar akla gelebilecek en yüksek standartlar değil uygulanabilir en yüksek standartlardır (Aristo, 2012).

IMO'nun başlıca amaçları şunlardır:

- Deniz çevresinin gemilerden ve ilgili faaliyetlerden kaynaklanan kirlilikten korunması alanında bayrak devletleri arasında teknik, hukuki ve bilimsel işbirliği için etkili mekanizmalar sağlamak (IMO, 2019).
- Bu standartların küresel düzeyde mümkün olan en geniş kabulü ve etkili uygulanmasını teşvik etmek (IMO, 2019).

Bu amaçlar doğrultusunda IMO 1990'lı yılların ortalarında deniz emniyetini teşvik etmek ve geliştirmek amacıyla ilk olarak Denizcilik ve Sahil Güvenlik Ajansı (MCA) tarafından 62. Deniz Güvenlik Komitesi'nin (MSC) toplantısında ortaya atılan Resmi Emniyet Değerlendirmelerini (FSA) kabul ederek denizcilik sektörüne tanıtmış ve kullanıma sunmuş ve üyelerinden gemi emniyeti ile ilgili araştırmalara aktif olarak katılmalarını istemiştir (Fang & Wang, 2004). FSA, sistematik, resmi ve bütünsel bir değerlendirme yaklaşımıdır. Bu yöntemin gemi havuzlanması, gemi tasarımı ve denizciliğin emniyetli yönetiminde uygulanmasının amacı, havuz tasarımı, denetimi, işletimi ve bakımı vb. konularda genel bir analiz yapmak için FSA'nın beş adımlı prosedürünü kullanarak deniz emniyetini arttırmaktır. FSA mevcut havuz tasarımları ve mühendislik tekniklerinin gemi havuzlanma operasyonu ve kontrolünün, emniyetli yönetim standartlarının ve düzenlemelerinin analizi ve gerçekçi ihtiyaçların birleşimi temelinde önlem ve düzenlemeleri iyileştirmek veya yenilerini yapmak için bir araç olarak kullanılmaktadır.

(Wang, 2001). FSA, geleneksel reaktif düzenleyici çerçeveyi riske dayalı ve hedef belirleme rejimine doğru değiştirmiştir (Fang & Wang, 2004).

1.4.2. Bayrak Devleti Uygulamaları

Yüzer havuzlara ilişkin bayrak devleti uygulamaları, bayrak devletlerinin geçerli sözleşmeler kapsamındaki yükümlülüklerini yerine getirmesini kolaylaştırmak için önemli araçlar ve yönergeler geliştiren yeni bir organıdır ve sorunun özü hala çözüme kavuşturulamamıştır. IMO'ya bu tür bir uygulama yetki verilmesine karşın yaygın bir direnç mevcut olmaya devam etmektedir. Bazı limanlar Liman Devleti Kontrolünü (PSC) benimsemiştir ancak yetkileri sınırlıdır ve denetimleri genellikle yüzeyseldir, yetersiz derinlik ve ayrıntıya sahiptir. Bu nedenle birçok bayrak devleti sorumluluklarını klas kuruluşlarına devretmiş olduğu görünmektedir (Aristo, 2012).

1.4.3. Klas Kuruluşları

Klas kuruluşlarının asıl görevi gemilerin inşası ve sonraki bakımına ilişkin standartları belirlemek ve bu standartların tam olarak uygulanmasını sağlamaktır (Aristo, 2012). Bu standartlar; Kurallar, Yönetmelikler ve Prosedürler halinde yayınlanmaktadır. Yüzer havuzların sınıflandırılmasına ilişkin kurallara göre yüzer havuzun her zaman uygun şekilde elleçleneceği ve tüm yükleme ve balast operasyonu onaylı kullanım kılavuzuna uygun olacağı varsayımına dayanmaktadır (ABS, 2022; DNV-GL, 2015; KR, 2015).

Klas kuruluşu yönetmeliklerinde tanımlanan periyodik denetimlere ancak mal sahibi/işletmeci/yöneticinin talebi üzerine katılabilmektedir. Periyodik denetimler yıllık, ara (2 ila 3 yıl) veya özel denetimler (5 yıllık döngüler) şeklinde gerçekleştirilmektedir. Klas kuruluşları esasen aşağıdaki nedenlerden dolayı her koşulda gemilerin emniyetini sağlayamamaktadır (Aristo, 2012).

- Klasın gemi sahiplerine veya yeni inşaalarda tersanelere bağımlılığı vardır.
- Genellikle bayrak devleti adına yasal denetimler gerçekleştirilmesi ve sertifikaların verilmesinden kaynaklanan çıkar çatışması vardır.
- Klas kural, düzenleme ve prosedürleri mutlak minimum standartlardır.
- Klasın düzenlemeleri yürürlüğe koymak ve uygulama konusunda hiçbir yetkisi yoktur veya en azından çok sınırlı bir yetkisi vardır.

- Aslında klasın doğrudan bir sorumluluğu yoktur.

1.4.4. Ulusal Mevzuatlar

Ülkemizin ulusal mevzuatında yüzer havuzlar; içinde gemi inşaatı, tadilatı, bakım ve onarım faaliyetleri ile deniz taşımacılığında da kullanılabilen su araçları olarak tanımlanmaktadır (Resmi Gazete, 2015). Yüzer havuzu işletmek isteyen tesis işletmecisi yüzer havuz ile ilgili satın alma veya inşaatı ve/veya kiralama işlemlerine başlamadan, aşağıdaki evrakları tamamlayarak yüzer havuz işletme ön izni almak için idareye başvurması gerekmektedir (Resmi Gazete, 2015).

- Başvuru dilekçesi,
- Yüzer havuzun çıkmaları da dahil boyutlarını gösteren inşa izni/tonilato/klas belgelerinden birinin aslı veya idarece onaylı örneği,
- En büyük dalma draftı,
- Yüzer havuzun bağlama elemanları ve batimetrik verilerini de gösterecek ve 4 nüsha olacak şekilde 1/1000 veya idarece istenmesi durumunda 1/500 ve/veya 1/2000 ölçekli hazırlanmış yüzer havuz bağlama planının aslı veya idarece onaylı örneği,
- Tesise ait kısmı işletme izni belgesi veya işletme izni belgesi örneği.

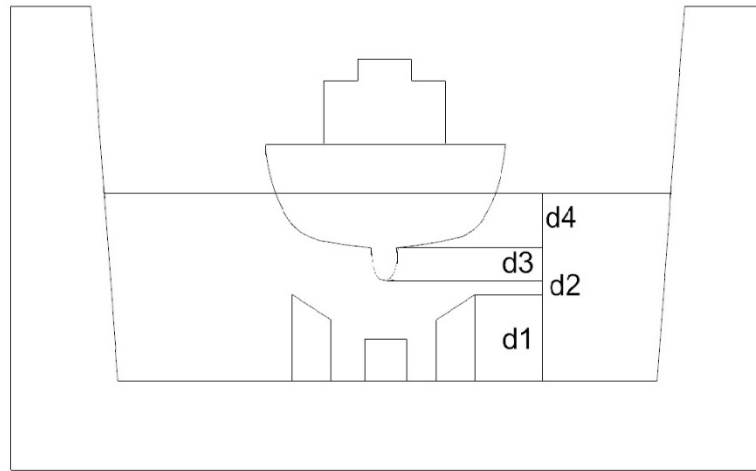
İdarece mahallinde yapılacak olan inceleme neticesinde hazırlanacak olan rapor üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Konumlandırılmasında sakınca bulunmayan yüzer havuza ilişkin ön izni verilir. Ön izin sonrası yüzer havuz işletme izni belgesi beş yılı geçmeyecek şekilde düzenlenir. Çelik yapıdaki yüzer havuzlar planlarına uygun konstrüksiyon elemanları, beton yapıdaki yüzer havuzlar ise beton harici konstrüksiyon elemanları kalınlık ölçümünün de bulunduğu yetkilendirilmiş kuruluşlardan alınacak klas denetim uygunlu raporunu beş yılda bir idareye ibraz etmek zorunluluğu bulunmaktadır (Resmi Gazete, 2015).

1.5. Gemi Havuzlanma Operasyonu

1.5.1. Geminin ve Yüzer Havuzun Hazırlığı

Gemilerin bakım-onarım ihtiyacı, deniz şartlarından kaynaklı oluşan korozyonlar, ortaya çıkan kazalar ve kullanımdan kaynaklı bazı ekipmanlarda yetersizlik oluşması sonucu

ortaya çıkmaktadır (Becht & Hetherman, 2016; Harren, 2010). Planlı gemi bakım programı içeriğinde en büyük lojistik ve planlama konusu olan gemi havuzlanma operasyonun yapılması, teknik ve operasyonel bölümlerin kontrolünde gemi yöneticileri için kritik bir süreçtir (Çelik vd., 2009b). Gemi havuzlanma operasyonu hazırlıkları bir hafta öncesinden başlamaktadır. Havuz kaptanı, gemi ilgililerinden havuzlanma planını talep eder ve bu plan temin edilemezse havuz kaptanı ve tersane gemiye ait endaze planı üzerinde çalışarak takarya planı hazırlanmaktadır (Harren, 2010). Takarya planına göre havuz üzerinde belirlenen konumlara yerleştirilen takaryalar ve ağaç yükseklikler hazırlanır. Havuz kaptanı tarafından takarya kontrolü tamamlanır ve havuz güvertesi havuzlanma operasyona uygunluğu kontrol edilir. Daha sonra havuz kaptanı tarafından dalış derinliği hesaplanarak, havuz çalışanlarına bildirilmektedir. Dalış derinliği ile ilgili hesap Şekil 11’de gösterilmiştir. Bu şekilde yüzer havuz tarafında hazırlık tamamlanmış olmaktadır (Harren, 2010).



Şekil 11. Dalış Derinliği

Dalış derinliği, gemi havuzlanma planındaki en yüksek takarya yüksekliği (d_1), yaz koşullarında 0,3 metre, kış koşullarında 0,5 metre olarak kabul edilen emniyet payı (d_2), gemi omurgası altında konumlandırılmış cihaz ve ekipmanların derinliği (d_3) ve havuzlanma öncesi geminin draftı (d_4) toplanması ile elde edilmektedir (Harren, 2010).

Gemi havuzlanma öncesinde personeli tarafından yapılması gereken hazırlıklar dahilinde, geminin sorumlu zabiti, stabiliteyi etkilemeyecek şekilde gemi geminin meyil açısını sıfıra yakın tutmaya çalışırken, gemi boyunun %1’ini geçmeyecek şekilde trimini düzenler. Havuzlanma öncesinde katodik koruma sistemi var ise kapalı konuma getirilir.

Sorumlu gemi çalışanı tarafından bütün deniz iştirak valfleri kontrol edilir ve çalışır durumda olduğu kontrol edilir. Bu şekilde gemi havuzlanmaya hazır hale getirilmektedir (Harren, 2010).

1.5.2. Havuzlanma Operasyonu ve Havuzlanma Manevrası

Gemi havuzlanacağı gün gemi ile tersane aralarında koordineli bir şekilde hazırlıklara başlar. Teyit edilmiş havuzlanma saatinin birkaç saat öncesinde yüzer havuz dalmaya başlar. Bu zaman dalma derinliğine özelinde değişiklik göstermektedir (Harren, 2010).

Yüzer havuz yeterli dalış derinliğine sahip olduktan sonra, gemi römorkörler vasıtasıyla havuz içerisinde, havuzlanacağı konuma yakın bir bölgeye getirildiğinde açmaz ve çapraz halatlar havuza gönderilir. Gemi manevra mahalinden gönderilen açmaz halatları havuz ırgatlarına volta edilir ve kasaları gemi babalarında voltalanır. Çapraz halatlar ise, geminin baş ve kıç ırgatına volta edilir ve kasaları havuzun babalarına voltalanır. Açmaz halatlar vasıtasıyla gemi sancak iskele konumu daha duyarlı olarak ayarlanır. Çapraz halatlarla ise geminin havuzlanma planında belirtilen boyuna uygun yere ayarlanır. Bu milimetrik ayarlamalar havuzun enine atılan şakülle yapılmaktadır (Harren, 2010).

Gemi, havuzlanma planındaki konumuna geldiğinde, yüzer havuz yükselmeye başlar. Geminin takaryalara oturma derinliği, merkez takarya yüksekliği ile gemi draftının toplanmasıyla elde edilmektedir. Oturma derinliğine gelindiğinde, profesyonel balıkadam veya su altı kamerası vasıtasıyla gemi karinası gözden geçirilir. Takaryaların tamamının gemi karinasıyla temas ettiğinden emin olunur ve meyil kontrolü yapılarak meyilin sıfır olduğu ve kontrollerde herhangi bir uygunsuzluğun olmadığı teyit edilmesiyle havuz yükselmeye devam eder ve bu şekilde gemi havuzlanma operasyonu tamamlanmaktadır (Harren, 2010).

1.5.3. Geminin Havuzdan Ayrılması

Havuzda bakım ve onarım işlemleri biten gemiler için havuzdan çıkış operasyonu öncesi yapılması ve kontroller edilmesi zorunlu birkaç unsur bulunmaktadır. Öncelikle havuzdan ayrılış operasyonuna başlamadan, havuz personeli ve gemi personeli beraber havuzdan ayrılış operasyonu toplantısı düzenlenmektedir. Toplantıda, havuz sürecinde gemiden oluşan ağırlık değişimi meydana gelip gelmediği teyit edilmektedir. Eğer ağırlık farkı meydana gelmiş ise, bu ağırlık değişiminin meyil, trim ve GM değerlerine olan etkisi

hesaplanması gerekmektedir (NAVSEA, 2005). Geminin ağırlığında artma veya azalma meydana gelmiş ise, meyilin sıfır, trimin gemi boyunun %1'inden az ve GM değerinin pozitif ve 25 cm'den yüksek olduğu teyit edilir. Özellikle güncel GM değeri, geminin stabilite kitabından, güncel deplasman ve draft değerleri grafik üzerinden okunarak ve uygun olduğu teyit edilmelidir. Son olarak, geminin havuzdan ayrılışına hazır olduğu konusunda taraflar mutabık kalarak ve toplantı sonlandırılır (Harren, 2010).

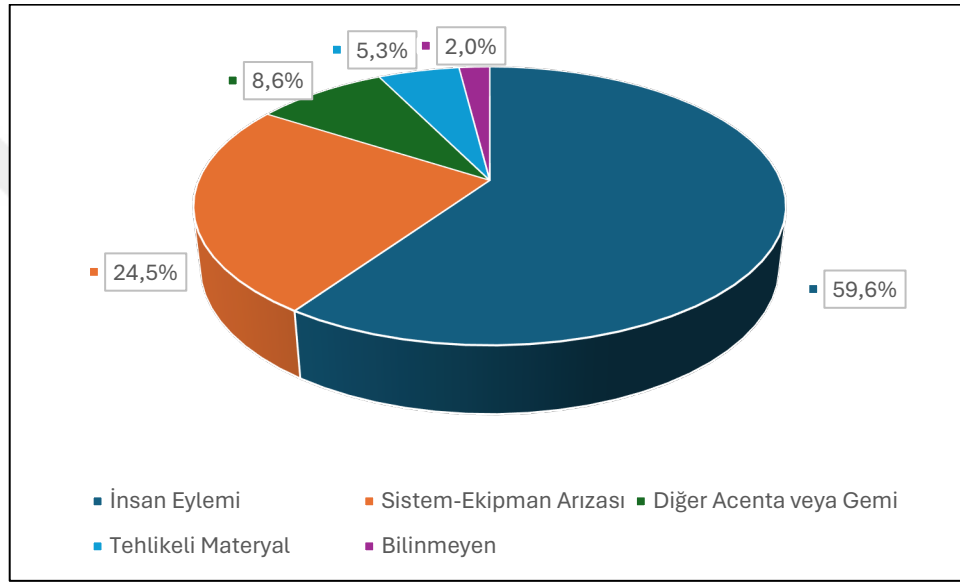
Havuzdan ayrılış hazırlıkları toplantıyı takiben tamamlanması ile son günün sabahı tekrar kontrol edilmelidir. Havuz çıkış hazırlıklarının tamamlaması takiben, gemi sahil bağlantıları (deniz suyu, tatlı su, pis su ve elektrik bağlantıları) sökülerek, açmaz halatları ve çapraz halatları havuza giriş konumunda olduğu gibi havuz ve gemi ırgat ve babalarına volta edilir. Sonra yüzer havuz dalışa geçer. Gemi takaryalardan kurtulmadan, yani yüzmeden 0,5 metre dalış derinliği öncesinde yüzer havuz dalışı durdurulur ve gemi jeneratörleri çalıştırılarak karina, kinistin valf ve deniz iştirak tüm valflerin sızdırmazlık kontrolleri yapılır. Gemi tarafında herhangi bir problem olmadığı teyidi alındıktan sonra dalışa devam edilir. Bu esnada gemi yüzene kadar sürekli meyil kontrolü yapılır ve bir meyil değişimi olması durumunda havuzlama mühendisine ivedi bilgi verilmesi gerekmektedir (Harren, 2010). Dalış derinliğine gelindiğinde römorkörler havuz içerisine girer ve gemiye aborda olurlar. Römorkörlerin yerlerini almasını takiben halatlar boşlanır ve gemi düz bir hatta kalmak suretiyle havuzdan çekilir. Böylece bir geminin havuzlanma süreci tamamlanmış olur (Harren, 2010).

1.6. Gemi Havuzlanma Kazaları ve Gemi İnşa Sanayisine Etkileri

Tersaneler, gemilerin inşası, onarımı ve bakımı için liman havzası, koy veya nehir gibi uygun su alanlarında bulunan endüstriyel tesislerdir. Bunlar genel olarak yeni gemi üreten tersaneler ve esas olarak gemilerin tamir ve bakımıyla uğraşan gemi tamir tersaneleri olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca gemilerin hem üretimi hem de onarımı için tersaneler bulunmaktadır (Harren, 2010; Mazurkiewicz, 1981). Havuzlanan gemiler geminin kuru ve su bazlı koşullar arasında geçtiği için potansiyel olarak tehlikeli operasyonlardır. Havuzlanma kazaları gemi veya havuz kaynaklı olarak karşımıza çıkmaktadır (Tupper, 2013). Korozyonu azaltan gövde kaplamalarının daha uzun süre dayanması nedeniyle havuzlanma artık daha az sıklıkta olmasına ve bir gemi hala yüzer haldeyken onarım yoluyla

daha fazla şey başarılabilmesine rağmen, havuzlanma operasyonları gemi inşa sanayi ekonomisinde hayati öneme sahip olmaktadır (Tupper, 2013).

Emniyetli ve sürdürülebilir deniz taşımacılığına en büyük engellerden biri, yıkıcı sonuçlara sebep olan deniz kazalarıdır (Arslan & Turan, 2009; Bal vd., 2015; Kuzu vd., 2019; Uğurlu, 2016; Uğurlu vd., 2013). Şekil 12’de görüleceği üzere 2014-2021 yılları arası kaza istatistikleri incelendiğinde insan eylemi (% 59,6) ve sistem-ekipman arızası (% 24,5) temel nedensel faktörler olduğu görülmektedir (EMSA, 2022).



Şekil 12. 2014-2021 Dönemi Kaza Olaylarının Yüzdesi

İnsan eylemleri sonucu meydana gelen kazalar değerlendirildiğinde, insan eylemlerinin denizcilik sektörüne maliyeti yaklaşık olarak yıllık 541 milyon Amerikan dolarıdır (Al-Shammari & Oh, 2018; Etman & Halawa, 2007). Deniz sigorta maliyetlerinin %30 dan fazlasını insan eylemleri meydana getirmektedir (Marsh, 2019). Yapılan araştırmalar, denizcilikte diğer endüstrilerde olduğu gibi, bireylerin hatalarının arkasında organizasyonel etkilerin ve faktörlerin bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle, denizcilik sektörü bütün paydaşları, Titanik faciasından günümüze insan ve organizasyonel faktörlerin (HOF) deniz kazaları üzerine katkısını incelemiş ve günümüzde bu çalışmalara devam etmektedir. (Özdemir & Güneroğlu, 2015; Ren vd., 2005; Schröder-Hinrichs vd., 2012; Uğurlu vd., 2020; Zarei vd., 2019). Bu doğrultuda, IMO kazalardaki insan faktörlerin soruşturulması maksadıyla bir sirküler yayımlamıştır. Sirkülerin yayımlanmasından bugüne kaza soruşturmaları insan faktörü gereken önem üzerinde durulmaktadır (Chen vd., 2013;

Çelik & Çebi, 2009; Kececi & Arslan, 2017; Yıldırım vd., 2015). HOF'lar genel olarak denizde yanlış yapılan bir sürü şeyin arkasındaki temel sebepler olarak karşımıza çıkmaktadır (Chen vd., 2013; Fan vd., 2020; Uğurlu vd., 2020; Yıldız vd., 2021). HOF'ların, çalışma şartları, fiziksel ve doğal çevresel şartlar, prosedür, teknoloji, eğitim, organizasyon ve yönetim gibi diğer ilgili etmenleri de içeren ve birbiriyle etkileşim halinde olan geniş bir kavramdır. (Norazahar vd., 2017; Schröder-Hinrichs vd., 2013). Deniz kazalarının oluşumunda yatan insan hataları ve organizasyonel etkenleri incelemek ve bunları berteraf edecek önlemleri tanımlamak, emniyetli ve sürdürülebilir deniz taşımacılığı için yüksek öneme sahiptir (Hetherington vd., 2006; Sarılioğlu vd., 2020; Uğurlu vd., 2015). Kaza analiz araştırmaları, HOF kaynaklı kazaların genellikle; niteliksiz gemiadamı atanması, yorgunluk, iletişim eksikliği, planlı bakım eksikliği, yetersiz emniyet kültürü, yetersiz eğitim, durumsal farkındalık eksikliği ve stres gibi faktörlerin etkileşimi neticesinde oluştuğunu ortaya koymaktadır (Akhtar & Utne, 2014; Bal vd., 2015; Fan vd., 2020; Fu vd., 2016; Yıldız vd., 2021).

Gün geçtikçe artış gösteren yeni gemi yapımı ve hali hazırdaki gemilerin havuzlanmaya olan ihtiyaçları, yüzer havuzlarda gemi havuzlanma operasyonlarında emniyeti tehdit eden risk faktörlerinde de artışa sebep olmaktadır. Havuz kazaları meydana geldiğinde tek başına gemi ve havuz zararı ile değil, can kaybı ve çevre felaketlerinin de gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yüzer havuzlarda değişmeyen ve değişken risklerin ortaya konması, güncel risk kontrol seçeneklerinin tanımlanması gemi yapım sanayisinde emniyetin tesis edilmesi ve sürdürülebilirliğinin devamlılığı için zorunluluktur.

1.7. Bulanık Hata Ağacı Analizi (FFTA) Yöntemi

Bu çalışmada kullanılması tercih edilen ögeler tek başlarına olabilirlik değerleri değil beraberinde bulanık sayılar olarak ta temsil edileceğinden klasik olabilirlik metodları araştırma için yeterli olmayacaktır bu sebeple bulanık hata ağacı analiz metodu seçilmiştir (Deshpande, 2011; Fujino & Hadipriono, 1996). Bulanık sayılar, hata ağacının alt düzeylerindeki temel olay (BE) olasılıklarının hesaplanması için kullanılmaktadır. FFTA metodu ile tepe olay (TE) meydana gelme olasılığı hesaplanması maksadıyla nicel sonuçlara varılmaktadır. TE olasılığına ek olarak, FFTA metodunun bir diğer avantajı ise, TE'nin meydana gelmesine etki sağlayan BE'nin önem derecesini belirtmesidir (Kuzu vd., 2019; Lavasani vd., 2015). Bu sebeple çalışmada tercih edilen FFTA yönteminin incelenmesi hata

ağacın alt seviyelerde oluşma olasılığı, BE'lerin meydana gelme olasılığın belirlenmesi maksadıyla bulanık sayılar kullanıldığı yerlerde kullanabilmektedir (Jafari vd., 2020; Liu vd., 2022).

1.7.1. Bulanık Mantık Yaklaşımı Metodu

Azerbaycan kökenli Prof. Dr. Lütü A. Zadeh modern anlamda bulanık mantığın ilk kurucusu olarak kabul edilmektedir (Bih, 2006). Zadeh, belirsiz durumların daha anlaşılabilir olması amacıyla farklı bir cebirin tercih edilmesi gerekliliğini savunmuştur (Shappell & Wiegmann, 1997). Günümüzde, bulanık mantık zor ve karışık sorunların çözülmesine olan faydası ve kullanılabilirliği sebebiyle; birden fazla uygulama alanı içinde kendine kolaylıkla yer bulmayı başarmıştır. Bulanık mantık, belirsiz koşulların sözlü ifadelerinin insani düşünce yapısına uygunluğunu matematiksel bir temele dayandırılmak suretiyle sanal ortamda modellemeyi sağlamaktadır (Kuzu vd., 2019; Lavasani vd., 2015). Zadeh, geleneksel mantıktan ayrı olarak ara değerlerine de dikkat edilmesi gerekliliğini ifade etmektedir (Zadeh, 1965). Geleneksel mantıkta, 1 veya 0 gibi ters ve uç değer ile ifade edilmektedir. Bulanık mantıkta ise tek başına 1 ve 0 değerlerine ek olarak bu iki değer arasındaki 0.5 gibi ara sayılarda bulunmaktadır (Klir & Yuan, 1995). Bulanık mantık yaklaşımında, değişmeyen değerlere dayalı bir fikir düzeni yerine, yaklaşık fikir düzeni ve terimleri kullanılmaktadır (Zadeh, 1965). Bulanık mantık, tamamen ayrı birden fazla disiplinde (fen, mühendislik, matematik vb.) ve ayrı konularda uygulanarak bilim insanları tarafından tercih edilmiştir. Bulanık mantık kavramının en dikkat çekici uygulamaları; Mamdani'nin 1974 yılında gerçekleştirmiş olduğu buhar makinesi kontrolü, Smith&Co.'nun 1980 yılında uyguladıkları çimento fırını kontrolü ve Hitachi firmasının 1987 yılında Japonya'da tasarlamış olduğu Sendai metrosunun kontrolü yer almaktadır (Alkan, 2011). Bulanık yöntemler ile bir sistem modellenmesi yaklaşıklık ve çözünürlüğe ulaştırmaktadır. Bulanık mantığı, geleneksel mantık sistemlerinden farklılaştıran değerli bir özelliği ise sözel değişkenlerin kullanıma uygun olmasıdır. Bulanık mantık yöntemine uygun modelleme sorunlarıyla karşılaşıldığında, normalde bir uzman kişinin tecrübe ve bilgisine başvurulmaktadır. Uzman kişi; sözel değişkenler olarak tanımlanan “uygun, uygun değil, alçak, biraz alçak, az, çok az, kısa, çok kısa” gibi rutin yaşamda bolca karşılaştığımız kelimeler ile derecelendirerek, daha esnek bir denetleme mekanizması meydana getirmektedir. Böylelikle sözel tanımlamalar, değişken değeri olarak, kesin olarak

tanımlanamayan karar ve kavramları yaklaşık olarak nitelendirilmesini sağlamaktadır (Zadeh, 1965).

Genel bilgi zemini, analizi yapılacak olaya etki eden girdi etmenler ve bu etmenler hakkındaki tüm bilgiler taşımaktadır. Bu bilgileri, giriş veya veri tabanı olarak da adlandırmak mümkündür. Bulanık kural taban birimi veri tabandaki girişler ve çıkışlar değişkenleri ile birleştiren mantık “EĞER-İSE” türünde tanımlanabilen bütün kuralları kapsamaktadır (Konaçoğlu, 2017). Sisteme bağlı bulunan kurallar oluşturulurken, girdiler ve çıktılar aralarında bulunabilecek tüm aralık bağlantılarına önem verilmelidir. Bu bağlamların tümü birleştirerek kural tabanı oluşturulmasına imkan vermektedir (Şen, 2020). Çıktı birim, bulanık kural tabanlı ve bilgiler bulanık çıkarma motoru ile oluşturulmuş çıktılarının değerini bütünü olarak tanımlanmaktadır (Mitchell & Larson, 1987).

Bulanıklaştırma, bulanık kümelerin sisteme uygun duruma getirecek türde yapılandırılmasıdır. Bu aşamada, dışardan temin edilen veri setlerinin, sistemin çıkarma mekanizması ile bulanık kural tabanında kayıtlı olan veriler vasıtasıyla işlenmesi amacıyla gerekli olan tüm hazırlıklar yapılmaktadır (Shi vd., 2014). Küme kelimesi dilbilimsel bir değişkeni veya bulanık bir genellemeyi tanımlamak maksadıyla tercih edilmektedir (Ross, 2013). Burada bulanık girdi değerlerine ulaşmak için üyelik fonksiyonları depolanır. Kullanılan veri setleri, bulanık kümelere dönüştürülmesinin sağlanmaktadır (Barron, 1993).

Durulaştırma, bulanık sayıları veya bulanık küme elemanlarını gerçek sayılara dönüştürme süreci olarak tanımlanmaktadır (Bayram vd., 2002). Bu bölümde, bulanık çıkarımda meydan getirilen bulanık kümeden kesin bir değer elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla elde edilen bulanık kümenin, gerçek hayatta kullanılabilirliği maksadıyla sayısal bir değer sahip olunması gerekmektedir (Baykal & Beyan, 2004). Bulanık küme veya sayılara ait önermelerde çoğu kez üyelik değerlerinin en büyük olduğu noktaya karşılık gelen değer, sorunun çözümü olan tek bir değer olarak tanımlanmaktadır (Mottahedi & Ataei, 2019). Öneri neticesinde tek bir değer ile karşılaşılmadığı durumunda en büyük değerler ortalaması çözüm değer olarak kabul edilmektedir (Huang vd., 2020). Böylelikle tercih edilen fonksiyonun değeri sadece 0 ile 1 olarak ifade edilmek yerine, bu sayılar arasında bulunan herhangi bir sayının da fonksiyon değeri olarak kabul edebilmektedir (Lower vd., 2016). Bulanık sonuç elde etme sürecinde, soruna özgü bulanık öneri değişkenleri ve karar alma kuralları tanımlanmasıyla üyelik fonksiyonu meydana getirme işlemlerini içermektedir (Liu vd., 2022).

1.7.2. Hata Ağacı Analiz Yöntemi (FTA)

Hata ağacı analiz yöntemi (FTA), 1962 yılında Bell Laboratuvarları'nda A. Mearns ve H. Watson tarafından hava kuvvetlerinin roket hedefleme kontrol sistem güvenlik değerlendirmesi için geliştirilmiş bir metoddur. FTA, uzay ve havacılık endüstriler için geliştirilmiş ve birden fazla alanda kendini kanıtlaması ile emniyet değerlendirmelerinde tercih edilmektedir (Ericson, 2015). FTA yönteminin adı, sistemin arızalanmasına etkili olabilecek hatalara ulaşmasına yardımcı olan ağaç şeklinde grafik düzeninden gelmektedir (Peeters vd., 2018). FTA, kazaların meydana gelişini tanımlamak ve başlangıç olayların önem derecesini göstermek için kullanılan bir analiz yöntemidir (Uğurlu vd., 2015). Bir hata ağacı, karmaşık bir düzenin güvenliğini ve güvenilirliğini tahmin etmek için niteliksel ve niceliksel olarak karmaşık bir yaklaşıma dayanan bir metodolojidir (D. Wang vd., 2013). FTA, hataların ve hata olaylarının dizileriyle ilişkilendirilen TE olasılığını değerlendirmek için tercih edilen bir şematik yöntemdir (Lavasanı vd., 2015). Belirli bir problemin kök sebeplerinin belirlenmesinden sonra, istenmeyen bir olayın olasılığının belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir (Contini & Matuzas, 2011; Piadeh vd., 2018). Bir hata ağacının temel unsurları en son olay, temel olaylar, orta olaylar ve mantıksal kapılar olarak ayrılmaktadır (Fujino & Hadipriono, 1996). Hata ağacı diyagramı “Tepe Olay” ile başlamaktadır. Hata ağacı yönteminde, TE'nin kök sebeplerine erişinceye kadar alt sebeplerin belirlenmesiyle tamamlanmaktadır (Deshpande, 2011).

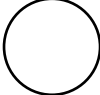
FTA, Boolean cebiri temelinde düzenin güvenilirliğini tahmin etmek amacıyla üstten alta tümdengelimli bir analiz metodudur. Hata ağacı, ağacın eşdeğer bir Boolean eşitlikleri kümesiyle temsil edildiği Boolean cebirinin kuralları ile analiz edilmektedir (Kabir, 2017). Boolean kapıları, girişleri ile çıkışları arasında bağlantı kurmaktadır. Boolean matematiği, ağaç şeklini matematiksel olarak temsil etmek suretiyle, her bir mantık geçidinin çıktısını hesaplanmasında kullanılmaktadır (Ericson, 2015; Huang vd., 2020). Boolean cebirinde “x” ve “+” olarak iki farklı tür işlem olarak sınıflandırılmaktadır. Bu işlemlerin mantıksal kapı olarak manası “VE” ve “VEYA” kapıları olarak tanımlanmaktadır. Tablo 3’de görüleceği üzere mantıksal şema içinde kullanılan bütün mantık kapılarının olasılık teoremleri Boolean cebiri üzerinden hesaplanarak kullanılmaktadır (Mukherjee, 2019).

Tablo 3. Boolean cebirinin asli unsurları

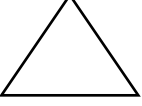
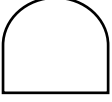
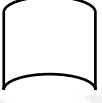
Kural Adı	Hesaplaması
Birleşme Kuralı	$(A + B) + C = A + (B + C)$ $(A \times B) \times C = A \times (B \times C)$
Değişebilirlik Kuralı	$A + B = B + A$ $A \times B = B \times A$
Tablo 3.'ün devamı	
Dağılma Kuralı	$A \times (B + C) = (A \times B) + (A \times C)$ $A + (B \times C) = (A + B) \times (A + C)$
Soğurma Kuralı	$(A \times B) + A = A$ $(A + B) \times B = B$
Fazlalık Kuralı	$A \times (A + B) = A$
Özdeşlik Kuralı	$(A + A) = A$ $A \times A = A$
De Morgan Kuralı	$(A + B) = A \times B$ $(A \times B) = (A + B)$

Tablo 4’de görüleceği üzere hata ağacı analiz yönteminde farklı sembol kullanılmaktadır. Hata ağacında, kök neden ile mantıksal kapı temel elemanları meydana getirmektedir. Bu yöntemde “VE” “VEYA” yaklaşımı benimsenmiştir. Esasen hata ağacı diyagramlarında “VE” “VEYA” kapıları gibi mantıksal operatörler kullanılmaktadır. Bir “VE” kapısının çıkışı bütün giriş kök nedenlerinin birleşiminden etkilenmektedir. “VEYA” kapısında ise bütün giriş kök nedenlerini içeren setlerin hepsi olarak tanımlanmaktadır (Mahmood vd., 2022).

Tablo 4. Hata ağacı analiz yöntemine kullanılan semboller

Sembol	Tanımı
	Olay: Diğer birkaç olayın etkileşiminden sonuçlanabilir olaydır.
	Temel olay: daha fazla tanıma gerek olmayan bir hata olayıdır.

Tablo 4.'ün devamı

	Durumsal olay: Mantık kapısına bağlanması gereken bir olay.
	Transfer sembolü: Hata ağacında sayfadaki bir çizime giriş ve çıkış ile aktarım yapmak için kullanılır.
	VE kapısı: Çıktı olayı sonucu tüm girdi olaylarının oluşmasını eşzamanlı gerektirir.
	VEYA kapısı: Çıktı olayı sonucu herhangi bir özel olayın oluşmasını gerektirir.
	Gelişmemiş olay: Uygun bilgi olmadığından dolayı daha fazla gelişemeyen bir olaydır.

Mantık kapılarının cebirsel tanımında: T ile ifade edilen tepe olayın (TE), temel olaylara (BE) X_i ve X_N bağlanmaktadır. Bu tanımda N, temel olayların sayısıdır. X_i olayın başarısız olma olasılığı $Q(X_i)$ ile gösterilmektedir. Devamında, bağlantı kapısı “VE” veya “VEYA” olduğu koşullarda, tepe olay $Q(T)$ olarak ta ifade edilen hata olasılığı şu şekilde hesaplanmaktadır.

“VE” kapısı için;

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

“VEYA” kapısı için;

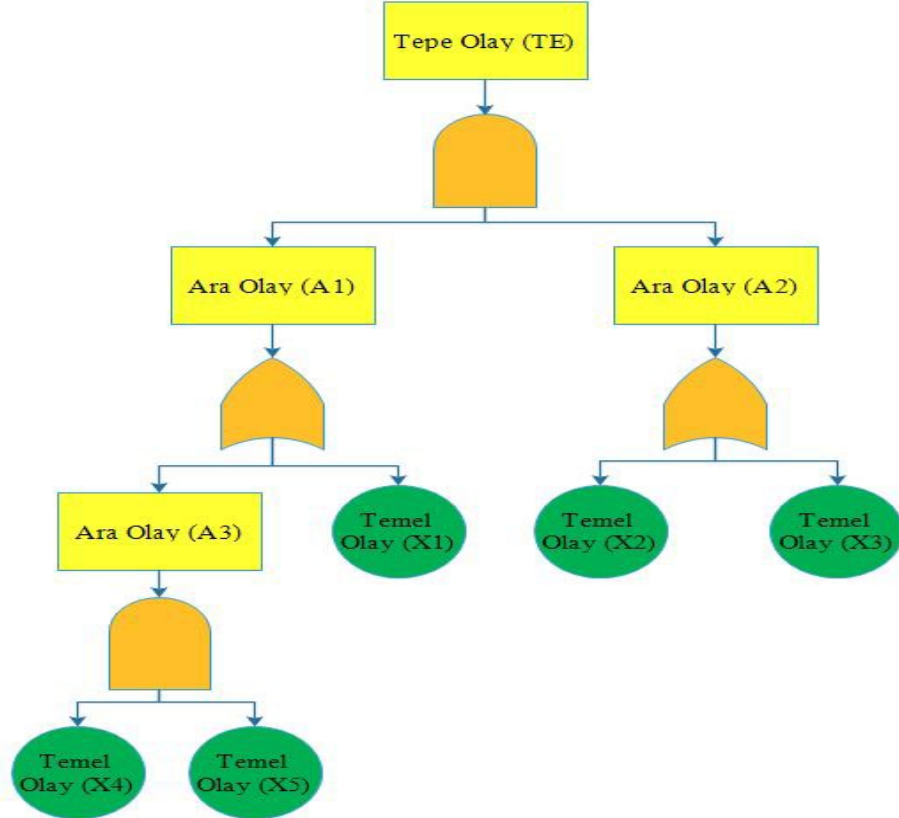
$$Q(T) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - Q(X_i)) \quad (2)$$

Hata ağacı analiz yönteminin uygulanması üç esas basamaktan oluşmaktadır. İlk basamakta analizi yapılacak olan sistem durumu, istenmeyen olay incelenir. İkinci basamakta istenmeyen olaydan yola çıkılarak hata ağacı tanımlanır. Son basamakta ise tanımlanan hata ağacı nicel değerlendirilmesi yapılmak suretiyle sistem güvenilirlik durumu ortaya konur (Yavuz, 2012).

Hata ağacını gösterirken Boolean matematiksel denklemlerini kullanmanın asıl sebebi, minimum kesme kümelerini tanımlamaktır. Temel olaylar (BE), TE'nin oluşumuna neden olan ve en küçük kesim kümelerinin birleşiminden oluşan kombinasyonlardır (Doytchev & Szwillus, 2009; Mottahedi & Ataei, 2019). Minimum kesme kümeleri (MCs), minimum düzen bileşen seti olarak tanımlanmaktadır ve düzende oluşan mantık kümesinin gösterimidir (Hu vd., 2020).

Hata ağacı analiziyle olasılık emniyet değerlendirilmesi genel olarak üç ana analiz türünden oluşmaktadır, bunlar sırasıyla (Rajakarunakaran vd., 2015);

- Hata ağacındaki kesme kümelerinin değerlendirilmesi için nitel bir analiz yapılması gereklidir,
- Kesme seti başarısızlık olasılıklarının ve en kötü durum başarısızlık olasılığı hesaplamak amacıyla nicel analiz yapılması gerekmektedir,
- Temel bir olayın ve bir kesme setin en üst düzey olayın başarısızlık olasılığına ne ölçüde katkı sağladığını anlamak maksadıyla önem değerlendirmesi yapılmalıdır.



Şekil 13. Örnek bir hata ağacı düzeni

Şekil 13’de görüleceği üzere örnek bir hata ağacı analiz yönteminde TE ve ara olaylar “VE” kapısı ile BE’ler ise “VEYA” kapısı ile birleştirilmiştir. Örnekte TE havuz kazası, ara olaylar (A1) geminin yanlış pozisyonu ve (A2) havuz stabilitesinin bozulması olarak verilmiştir. Gemi ırgat arızası, halatın aşırı yüke binmesi, ırgat sigorta atması, kullanım ömrü dolmuş valf ve anormal haggingsagging ise hata ağacında bulunan TE’nin oluşumunda etkili olan BE’ler olarak gösterilmiştir. Bu bilgiler eşliğinde “VE” kapısı işleminde; A1 ve A2 çıkışı olmak üzere toplamda da iki Boolean değişkeni bulunmaktadır;

1. TE : Tepe olay, A1 ve A2, iki olayı temsil etmektedir.
2. $P(T)$: TE Tepe olayın 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. $P(T) = P(A1) \times P(A2)$

Örnek hata ağacının oluşumu aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir;

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

$$A1 = A3 + X1 \quad (4)$$

$$A2 = X2 + X3 \quad (5)$$

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

Tepe olaya ait (3) eşitliği, (4) ve (5) eşitliklerinde faydalanılarak kapı ifadelerine başlangıç olayların yerleştirilmesi ile tekrar düzenlenip yazıldığında ise (7)’deki eşitlik elde edilmektedir:

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

Devamında (6) eşitliğiyle beraber düzenlendiğinde aşağıda belirtilen (8) eşitliği elde edilmektedir:

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

1.7.3. Bulanık Hata Ağacı Analiz Yönteminin Gelişimi

FTA, Boolean matematiği ve olasılık teorisini temel almaktadır. Olayların kesin olasılıklarının verildiğini ve yeterli arıza verisinin mevcut olduğu varsayan bir analiz yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Ericson & Li, 1999). İnsan hatalarına bağlı düzen modellemeleriyle ilgili yanlışlıklar, tek başına geleneksel olasılıksal güvenilirlik teorisi ile ele almak kolay değildir (Deacon vd., 2013). Bulanık küme teorisi bu durumda başa çıkmak için kullanılabilir olarak kabul görmüş bir yöntemdir. Bu nedenle FFTA yöntemi ile bunun gibi ve benzeri sorunların çözülmesi hususunda tercih edilmiştir (Shi vd., 2014).

Geleneksel FTA'da, sistem hata olasılıkları, bileşenlerin kesin değerleri ile ele alınmıştır. Net yaklaşım, bir düzenin bileşenlerinin hata oranını belirtilmesi için düzen modellemesinde yanlışlık veya belirsizlik nitelikleri değerlendirmede zorlukla karşılaşmaktadır (Liang vd., 2019). Sürekli değişen bir ortamda, hali hazırdaki verilerin yetersiz veya istatistiksel sonuçlar için eksik görüldüğü durumlar ortaya çıkmaktadır (Rajakarunakaran vd., 2015). Bu sebeple veri eksikliklerinde, yaklaşık tahminlerle çalışılması zorunlu olmaktadır. Bu durumda, düzenin hata olasılığının hesaplanması amacıyla geleneksel FTA yetersiz olmaktadır. Bulanık yaklaşım, değişkenlerin dalgalanmaları ile ilgili nicel bilgilerin bulunmadığı tek yol olarak karşımıza çıkmaktadır ve BE'lerin olasılıkları bulanık sayılarla ifade edilmektedir (Onisawa, 1990; Tanaka vd., 1983). Nicel sonuçlar değerlerin genel aralığını, bir başka değişle büyüklük sırasını işaret ettiği şeklinde tasvir edilebilir. Hata ağacı analizi sürecinde bulunan değişken bulgular ve önem dereceleri genellikle daha az belirsizliğe sahiptir. Kesme setlerinin sıralanması hesaplanan önem derecelerine dayanmaktadır. FFTA'nın başka bir türünü, bir hata ağacında insan güvenilirliğini analiz etmek için hata olasılığını kullanmayı önermiştir (Onisawa, 1990). Onisawa'nın çalışmasını birleştirerek, Wang (2001), bir FTA'da olasılık ve olasılık önlemlerini beraber ele alabilen bir karma yöntem geliştirerek kullanmıştır.

1.7.4. Tehlikelerin Ayrıştırılması Aşaması

Bu aşamada BE'ler; bilinen başarısızlık oranlı olaylar ve belirsiz başarısızlık oranlı olaylar olarak sınıflandırılır. Eğer olayın bilinen herhangi bir başarısızlık oranı varsa, bulanık

yaklaşımına gerek kalmadan hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, tüm BE'lerin başarısızlık oranları bilinmediğinden dolayı bulanık yaklaşım yöntemi tercih edilecektir.

1.7.5. Bilinmeyen Başarısızlık Oranlarının Olasılığının Belirlenmesi

Genellikle, bir olayın başarısızlık olasılığı;

- İstatiksel metodu,
- Ekstrapolasyon metodu,
- Hesaplamalar ve uzman değerlendirmesi metoduyla gerçekleştirilmektedir (Lavasanı vd., 2015).

İstatiksel yöntem, olasılığı hesaplamak amacıyla direk test ihtiva eden deneysel verilere dayanmaktadır. Ekstrapolasyon tekniği, model tahminleri ve benzer şartların uygulanmasını veya standart güvenilirlik el kitabına başvurulmasını içermektedir. Uzman değerlendirmesi yöntemi ise uzmanların temel olayların olasılıklarını değerlendirmesine dayanmaktadır (Lavasanı vd., 2015).

1.7.6. Değerlendirme Basamağı

Bu basamakta, veri seti bulgularının değerlendirilecek uzmanlar tarafından her bir temel olaya özgü kendi şahsi görüşlerini türetmektedir. Temel olay hata verileri değerlerinin doğruluğunu arttırmak maksadıyla uzman görüş yaklaşımı tercih edilmektedir. Sınırlı kaynaklar veya fiziksel kısıtlamalar nedeniyle bazı olaylarda belirsizlik ortadan kalkması için, istenilen ve uyumlu çalışmaların yapıldığı basamaktır (Rausand & Hoyland, 2003). Ayrıca metodoloji içeriğinde uzmanlara sadece kendi tecrübe ve bilgileriyle ilgili değerlendirme yapmalarını sağlamaktadır ve belirsizlikleri nicel olasılıklar olarak göz önüne çıkarmaktadır (Chen vd., 2014). Uzman değerlendirmelerinde elde edilen bulanık sayılar, BE'lerin olasılıklarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu teknik birçok disiplin tarafından kabul görmektedir. Psikoloji, Bayes istatistiği ve karar analizi, matematik, stokastik veri elde etmek için uzman değerlendirme yöntemi kabul gören disiplinlerden bir kaçlarıdır. Subjektif olasılıkların belirlenmesi bir çok durumda kullanılmaktadır (Liu vd., 2022).

Uzmanlar, sisteme aşinalığı bulunan, sistemin çalışma prensibine hakim ve konu özelinde değerli eğitim ve bilgiye haiz kişilerdir (Mahmood vd., 2022). Uzmanlar, amaçlanan çalışma ile alakalı olan kişilerden seçilmektedir (Vidal vd., 2011). Uzmanlar,

BE'leri sistem üzerindeki deneyim ve bilgilerine uygun olacak şekilde değerlendirmektedir (Leung vd., 1998). Dolayısıyla, aynı olay hakkında farklı algılarla karşılaşılabilmektedir ve öznel olarak farklı değerlendirmelerin çıkması sağlayabilmektedir (Shi vd., 2014; Uluscu vd., 2009).

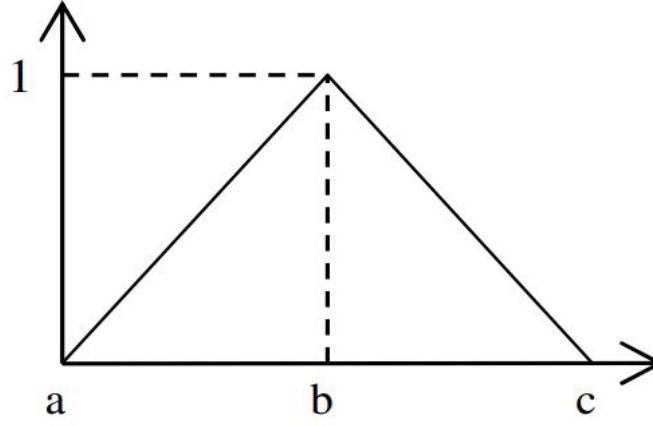
Bu çalışmada, belirsiz olayların olasılığını hesaplamak ve “W” ile sembolize edilen uzmanların ağırlık faktörünü hesaplamak maksadıyla heterojen uzman görüşü kullanılmıştır.

$$W_{\mu} = \frac{\text{Uzmanın Ağırlık Faktörü} (W_{\mu})}{\text{Uzmanın Ağırlıklı Puanı}} = \frac{\text{Uzmanın Ağırlıklı Puanı}}{\text{Tüm Uzmanların Ağırlıklı Puanları Toplamı}} \quad (9)$$

Uzman görüşlerin değerlendirilmesi, her temel olaya uzman görüşlerine başvuruda tercih edilen dilsel terimlerle meydana getirilebilir. Dilsel terim kavramı, geleneksel nicel ifade ile tanımlanamayacak kadar karışık olan durumların tanımlanmasını daha anlaşılır hale getiren bir metod meydana getirmektedir (Xiaowei vd., 2024; Zadeh, 1965).

1.7.7. Bulanıklaştırma Basamağı

Bulanıklaştırma basamağında, uzman değerlendirmelerinden elde edilen hata olasılığına ait sözel veriler, sayı verilerine evrimleştirilmektedir (Rajakarunakaran vd., 2015). Literatürde yapılan benzer çalışmalarda farklı olarak bulanık sayı biçimleri kullanılmıştır. Güvenirlik analizlerinde ise en sık kullanılan bulanık sayı kümeleri, üçgen bulanık sayılar (TFN) ve yamuk bulanık sayılar (TZFN) olarak karşımıza çıkmaktadır (Liu vd., 2022). Bulanık sayıların oluşturmuş olduğu üyelik fonksiyonlarından hangisinin kullanılacağı değişken özellikleri, eldeki veriler ve uzman görüşleri esas alınarak belirlenmektedir (Sun vd., 2023). Bu çalışmada Şekil 14'de görüleceği üzere BE'lerin olasılık değerlerini saptamak için TFN tercih edilmiştir (Cai vd., 2020).



Şekil 14. Üçgensel üyelik fonksiyonu

TFN, BE'lerin bulanık olasılık değerlerini (a,b,c) değişkenlerini içeren 3'lü grup şeklinde temsil etmektedir. A bulanık sayılar kümesi ve $x \in A$ olmak üzere $\mu_A(x)$ A bulanık sayılar kümesinin üyelik fonksiyonudur ve $R \rightarrow [0,1]$ aralığındadır. A kümesi $[a, c]$ aralığında bulunduğu kabul edildiğinde $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (D. Wang vd., 2013).

$$\mu_A(x) = \mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer } a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (10)$$

1.7.8. Birleştirme Basamağı

Uzmanların, tecrübe ve bilgilerine göre farklı fikirlere sahip olduklarından dolayı benzer olmayan kararlar verebilmektedir. Bu tür durumlarda önemli olan asıl nokta bütün yargıları birleştirmek ve bir uzlaşmaya varmaktır. Bu sebeple her bir BE için uzlaşmaya ulaşmak için “M” adet uzmandan elde edilen “m” tane nicel verinin birleştirilme işlemine uygulanmaktadır. Lu vd. (2018), hem homojen hem de heterojen grup yargılarının birleştirilmesine uygun bir algoritma önermektedir. Her bir uzmana $E_U(u = 1, 2, 3, \dots, M)$ şeklinde formül oluşturulmuştur. Kendi görüşüne uygun bir bağlamda önceden belirlenmiş olan bir dilsel terimle tanımlandığı varsayılmaktadır. Burada E uzmanı, u ise M adet uzmandan herhangi birini ifade etmektedir (Rajakarunakaran vd., 2015). Bu yaklaşımda,

$A_1 = (a_{11}, a_{12}, a_{13})$ ve $A_2 = (a_{21}, a_{22}, a_{23})$ iki adet standart üçgen bulanık sayıların kümesi oluşturulmaktadır. Daha sonrası, bu iki bulanık sayıların kümesi aralarındaki benzerlik derecesi, benzerlik fonksiyonuyla elde edilmektedir (Klir & Yuan, 1995).

$\widetilde{R1}, \widetilde{R2}$: Bir çift uzman görüş,

$S_{UV}(\widetilde{R1}, \widetilde{R2})$: İki farklı uzman görüşünün anlaşma derecesi,

$S(\widetilde{A_1}, \widetilde{A_2})$: İki bulanık sayı kümesi arasındaki benzerlik derecesi,

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

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

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

$\widetilde{R_{AG}}$: Uzman kararlarının toplam sonucu olarak ifade edilmektedir.

1. Basamak:

$$S(\widetilde{A_1}, \widetilde{A_2}) = 1 - (1/3) \sum_i^3 |\alpha_{1i} - \alpha_{2i}| \quad (11)$$

2. Basamak: M adet uzmanın ortalama anlaşma (AA) derecesi hesaplanması:

$$AA(E_u) = \frac{1}{M - 1 \sum_{U \neq V}^M S(\widetilde{A_1}, \widetilde{A_2})} \quad (12)$$

3. Basamak: M adet uzmanın değişken anlaşma (RA) derecesi hesaplanması:

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

4. Basamak: Uzmanın Konsensüs Katsayısı (CC) derecesi hesaplanması:

$$CC(E_u) = \beta \times w(E_u) + (1 - \beta) \times RA(E_u) \quad (14)$$

$\beta (0 \leq \beta \leq 1)$ önerilen yöntemin gevşetme faktörüdür. $W(E_u)$ 'nin $RA(E_u)$ üzerindeki önemini tanımlamaktadır. $\beta = 0$ olduğu zaman uzman ağırlık faktörlerine önem verilmek, uzmanların kendi aralarında homojen dağılım bulunmaktadır. $\beta = 1$ olduğunda

uzmanın, CC derecesi ile ağırlık önemi kesişmektedir. Yaptığımız bu çalışmada $\beta = 0,5$ olarak alınacaktır.

5. Basamak: En sonunda uzmanların görüşleri toplam sonuç $\widetilde{R}_{AG}$ değerine aşağıdaki formül ile ulaşılmaktadır:

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

1.7.9. Durulaştırma Basamağı

Durulaştırma işlemi sonucunda bulanık mantıkta ölçüler sonuçlarına varmaktadır. Bulanık sayıların kesinleştirilmesi, belirsiz konularla karşılaşıldığında karar vermede son derece kritiktir. Bulanık derecelendirme, bir hata ağacı analizi probleminde kullanıldığında, elde edilen son derecelendirmeler de bulanık sayılar şeklinde ifade edilmektedir (Klir & Yuan, 1995). Bu sayılar aralarındaki ilişkinin belirlenmesi için bulanık bir olasılık puanının (FPS) net bir puan olarak tanımlanması gerekmektedir (Barron, 1993). BE'lerin FPS değeri, uzman görüşünün birleştirilme aşamasında hesaplanması ile oluşturulan son üyelik fonksiyonundan elde edilmektedir (Deshpande, 2011). FPS, herhangi bir uzmanın temel olayın gerçekleşme olasılığının değerlendirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Durulaştırma yöntemleri arasında centroid method, mean max membership, weighted average method, center of largest area vb. yöntemler yer almaktadır (Ross, 2013). Araştırmanın yapısı gereği uygun görülen durulaştırma metodunu seçmek kritik bir meseledir. Bu çalışmada ise kolay ve anlaşılabilir özelliği sebebiyle en popüler olan merkezi alan durulaştırma metodu tercih edilerek her bir temel olay için bulanık olasılık değeri hesaplanmıştır (Grabowski vd., 2010). Sugeno tarafından geliştirilen bu teknik 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Sugeno, 1999).

Durulaştırma formülü:

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

Üçgen bulanık sayı $\tilde{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ için formül aşağıdaki gibidir:

$$X = \frac{\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{x - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} x dx + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \frac{\alpha_3 - x}{\alpha_3 - \alpha_2} x dx}{\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{x - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} dx + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \frac{\alpha_3 - x}{\alpha_3 - \alpha_2} dx} = \frac{1}{3}(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \quad (17)$$

Yamuk bulanık sayı için $\tilde{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ için formül aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} X &= \frac{\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{x - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} x dx + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} x dx + \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \frac{\alpha_4 - x}{\alpha_4 - \alpha_3} x dx}{\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{x - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} dx + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} x dx + \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \frac{\alpha_4 - x}{\alpha_4 - \alpha_3} dx} \\ &= \frac{1}{3} \frac{(\alpha_4 + \alpha_3)^2 - \alpha_4 \alpha_3 - (\alpha_1 + \alpha_2)^2 + \alpha_1 \alpha_2}{(\alpha_4 + \alpha_3 - \alpha_2 - \alpha_1)} \end{aligned} \quad (18)$$

1.7.10. Hata Olasılığın Üretilmesi

Ara sıra belirsiz verilerden ötürü başarısızlık olasılık değerini bulmak mümkün olmamaktadır. Belirli olmayan olayların başarısızlık olasılıkları (FF) ve CFP'leri aralarında tutarsızlık bulunmaktadır (Lavasanı vd., 2015). Bulanık sayı kümesi kullanıldığında hata ağacı analizinde, gerçek olasılık verileri ile hesaplanan olasılık değerleri aralarında tutarsızlık gözlemlenmektedir. Ancak, bu tutarsızlık, net başarısızlık olasılığının (CFP) başarısızlık olasılığına (FFP) evrimleştirilmesi ile giderilebilmektedir (Ramzali vd., 2015). Bu prosedürde, aşağıda belirtilen bulanık hata olasılığı (FFP) formülü kullanılmıştır. (Onisawa, 1990).

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

1.7.11. Tepe Olay Başarısızlık Olasılığı

Gerçekleştirilen işlemler, bulanıklaştırma adımıyla başlayıp tepe olayın başarısızlık olasılığı ile sonuçlanan basamaklarda bulunan BE'lerin olasılık değerlerinin hata ağacında yerleştirilmesi ve TE'nin olasılık değerini hesaplanmasını içermektedir. (Fujino & Hadipriono, 1996). Aşamanın bu kısmında, belirli sayıda MCs'ler ve kesim kümelerine ait sayısal veriler bulunmaktadır. MCs'ler, TE'nin gerçekleşebilmesi için gerekli minimum

kombinasyonlardır; biri eksikse TE meydana gelmez. BE'ler olasılık değerleri hesaplanmasına müteakip FTA aracılığıyla TE'nin olasılık değeri belirlenebilmektedir (Tanaka vd., 1983).

1.7.12. Önem Derecelendirilmesi

FTA analizi neticesinde sadece TE'nin meydana gelme olasılığı bulunmamaktadır. Bunun yanında her bir kesim kümesi için mevcut risklerle alakalı karar vermedeki önemine de ulaşılmaktadır (Lavasani vd., 2015). TE'nin meydana gelmesinde etkili olan önemli BE'lere ait kesim kümeleri tanımlanması oldukça önem arz etmektedir. Sistemde zorunlu iyileştirmeler yapılabilmesi amacıyla kesme kümeleri önem derecesi doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda TE'yi meydana getiren kesme kümeleri önem değerlerini hesaplamak için farklı metodlardan yararlanılmıştır (Rajakarunakaran vd., 2015). Bu çalışmada aşağıda gösterildiği üzere Vessely 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

$Q_S(t)$: MC's'lerin tepe olayın gerçekleşme olasılığına etkisi

1.7.13. Monte Carlo Simülasyon Yöntemi

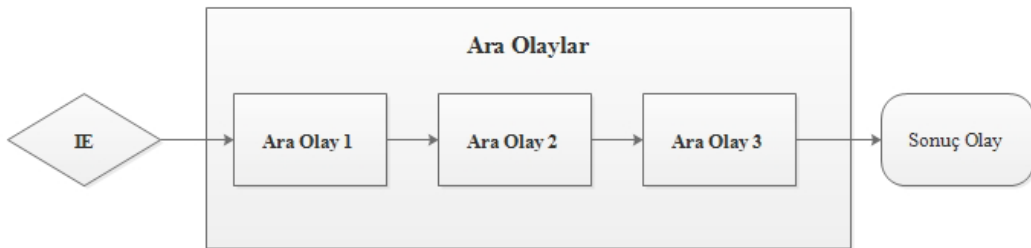
Monte Carlo yöntemi, rastgele sayılar kullanarak bir sorunu istatistiksel olarak çözmeye çalışan makroskopik bir yaklaşımdır (Mooney, 1997). Bu yöntem, ilgili problemi tanımlayan olasılık dağılım fonksiyonlarından rastgele örneklemeler almayı içerir. Algoritmanın doğru olması ve fiziksel sistemin iyi modellenmesi koşuluyla, dağılımların tekrarlı örneklemeleri doğru çözüme yakın sonuçlar verecektir (Geweke, 1996). Monte Carlo yönteminin benzersizliği, istatistiksel yaklaşımında yatmaktadır. Bu yöntem, örnekleme ve çıkarım gibi istatistiksel yöntemlere dayanır (Liu vd., 2023). Bu, yöntemin sadece rastgele olaylar veya işlemler içeren sorunlara uygulanabileceği anlamına gelmez. Ancak, Monte Carlo araştırmasının ilk günlerinden itibaren, yöntem ağırlıklı olarak rastgele

olayları incelemek için kullanılmıştır. Gemi havuzlanma kazaları doğası gereği rastgele bir işlem olması, Monte Carlo tekniğine mükemmel bir örnektir. Klasik istatistiklerin aksine, Monte Carlo yönteminde örnekler gözlemlerden toplanmak yerine bilgisayar algoritması tarafından üretilmektedir (Bogalecka & Dąbrowska, 2023). Süreci temsil eden bir olasılık dağılım fonksiyonu üzerinden, bilgisayar kodlarının ürettiği düzenli rastgele sayıların belirlediği rastgele örneklemeler takip edilir. Sonuçların ortalamasındaki değişim, örneklem sayısı arttıkça azalır ve problemin çözümüne yaklaşılmaktadır (Bilici vd., 2023; Wu vd., 2023).

1.8. Olay Ağacı Analiz Yöntemi (ETA)

Olay Ağacı Analizi (ETA) yöntemi, bir tetikleyici olayın meydana gelmesini izleyen potansiyel bir kaza senaryolarındaki olaylar zincirinin tanımlanması ve değerlendirme analizi tekniği olarak tanımlanmaktadır (Carter, 2005; Huang vd., 2001; Vaurio, 2001). Bu yöntem, olay ağacı (ET) olarak tanımlanan görsel bir şemadan faydalanmaktadır (Ferdous vd., 2009; Mahmood vd., 2022). Olay ağacı analizinin asıl amacı, tetikleyici olayın ciddi bir kazaya mı dönüşeceği; yoksa olayın, sistemin tasarımında uygulanan emniyet sistemlerini ve prosedürlerini kullanarak etkili bir formda kontrol altına mı alınacağını belirlemektir (Kuzu vd., 2019; Raiyan vd., 2017). Bir adet analiz, tek bir tetikleyici olaydan birden fazla ve farklı neticeyle sonuçlanabilmektedir (Ferdous vd., 2011). ETA metodu aşağıdaki tanımlar üzerine kurulmuştur (Ericson, 2015; Veljanovski & Čepin, 2024):

Kaza Senaryosu: Sonuç olarak bir kaza sonucunu doğuran olaylar silsilesi. Olaylar silsilesi, tetikleyici bir olay ile başlar ve genellikle istenmeyen sonuca götüren bir veya daha fazla ara olaylar ile devam etmektedir. Şekil 15’de tetikleyici olay ve ara olayları içeren bir örnek kaza senaryosu şeması görülmektedir.



Şekil 15. Örnek kaza senaryosu şeması

Ara olaylar: Tetikleyici olay ile muhtemel sonuç arasındaki olaylar dizisidir. Bu olaylar, istenmeyen sonuçları engellemek için tasarlanmış güvenlik önlemlerinin başarılı/hata durumlarını ifade eder. Bir ara olay başarılıysa, kaza önlenir ve hafifletici bir olay olarak kabul edilir. Ancak, eğer ara olay başarısız olursa, kaza senaryosu devam eder ve ağırlaştırıcı bir olay olarak tanımlanmaktadır.

Olasılıksal risk değerlendirmesi (PRA): Karmaşık bir teknolojik sistem içinde riski tanımlamak ve değerlendirmek için kullanılan kapsamlı, temelli ve mantıksal bir analiz yöntemidir. PRA'nın hedefi, kaza senaryolarının ayrıntılı bir şekilde tanımlanması ve değerlendirilmesi için kantitatif bir analiz yapmaktır.

Olay ağacı (ET): Çeşitli sonuçların ve sonuç olasılıklarının bulunduğu bir kaza senaryosunun grafiksel temsili şeklidir. Olay ağaçları, olasılıksal risk değerlendirmelerinde en sık kullanılan araçlardan biridir.

Olay ağacı analizi, ilk başta seçilmiş olan olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçların akışını diyagram ile göstermektedir. Tetikleyici bir olayı takip eden olaylar silsilesinin devamında, tetiklemeli olay sonrasında sistem bileşenlerinin ve işlevlerinin nasıl etkilendiğini, ağırlaştırıcı ya da hafifletici olaylar ile göstermektedir. ETA, hem kalitatif hem de kantitatif olarak uygulanabilmektedir (Huang vd., 2001).

Olay ağacı analizi, nükleer endüstride en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir ve nükleer enerji santrallerinin işletilme analizinde geniş bir şekilde kullanılmıştır (Piadeh vd., 2018). “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” (Seveso-COMAH Direktifi) kapsamında olan kimya fabrikalarında da mevcut işlem bileşenlerinin ve güvenlik sistemlerinin hata olasılıklarının belirlenmesinde ve ortaya çıkacak sonuçların vahametinin tespitinde de çokça kullanılmaktadır (Rosqvist vd., 2013). Bu yöntem tümevarımlı mantığı kullanmaktadır. Kaza öncesi ve kaza sonrası durumları gösterdiğinden sonuç analizinde kullanılan başlıca tekniklerden birisidir (Ferdous vd., 2011; Ronza vd., 2003). Diyagramın sol tarafı başlangıç olay ile bağlanır, sağ taraf fabrikadaki/işletmedeki hasar durumu ile bağlanır, diyagramın en üst kısmı ise sistemi tanımlar. Eğer sistem başarılı ise yol yukarı, başarısız ise aşağı doğru gider. Olay ağacı analizi süreci aşağıda gösterilmiştir (Di Maio vd., 2022; Glingler vd., 2023; Kim, 2024; Raiyan vd., 2017).

1. Olay ağacı, herhangi bir tetikleme olayının seçilmesi ile başlar,
2. Bu, bir havuz kazası gibi özel bir durum ya da elektrik kesintisi sonucu jeneratör devreye girmesi olabilir,
3. Sonuçları hafifletmek için mevcut olan sistemler ya da işlevler, daha sonra sırası ile listelenir,
4. Her bir işlev ya da sistemin başarısını ya da arızasını göstermek için bir çizgi çizilir,
5. Hatanın/arızanın özel bir olasılığı, örneğin geçmiş bakım verisi ya da bir hata ağacı analizi tarafından tahmin edilen koşullu olasılığı ile her bir çizgiye olasılık verilir,
6. Sistem içindeki tüm güvenilir operasyonel değişimler tanımlanır. Her bir yol takip edildiğinde nihai başarı veya başarısızlığa götürür,
7. Böylelikle, ön olaydan gelen farklı yollar koşullu olasılıklar, örneğin; gemi yüzdürme operasyonunun işleyiş olasılığı, normal şartlar altında yapılan testlerden elde edilen olasılık değil, havuz kazasının sebep olduğu koşullar altındaki işleyiş olasılığıdır,
8. Ağacın tümünden her bir yol, bu yoldaki tüm olayların meydana gelme olasılığını gösterir,
9. Bu sebeple her bir sonucun olasılığı, bağımsız ve şarta bağlı olasılıkların bir sonucu şeklinde temsil edilir.

Diğer yandan, bir olay ağacı ara olay senaryo tanımlamalarını göstermektedir. Bu sonuçlarına göre senaryoları sınıflandırmada kullanılan bir ağaç yapısı biçiminde sunulmaktadır (Vaurio, 2001). Olay ağacının başlıca elemanları; tetikleyici olay, ara olaylar ve sonuç durumları ya da çıktılardır. Bu bileşenlerin eşliğinde ağaç yapısı, gerçekleşen veya gerçekleşmeyen tetikleyici olaylardan doğan mümkün senaryoları göstermektedir. Ağaç yapısı boyunca ilerleyen her bir yol ayrı bir senaryo meydana getirmektedir (Eleye-Datubo vd., 2006; Ramzali vd., 2015).

Olay ağacı analizi, yukarıda anlatıldığı üzere, herhangi bir tetikleyici olayın seçilmesi ve bu olay için önlemler ile önleme olasılıklarının belirlenmesi ile başlamaktadır (Raiyan vd., 2017). Tetikleyici olay için belirlenen önlemlerin yani ara olayların başarı/başarısız, evet/hayır, açık/kapalı gibi sadece iki durumlu olarak tasarlandığı sistemlerde olay ağacı iki kollu bir şema olarak devam edecektir (Chevreau vd., 2006). Bu durumda, her bir kolu bir sonraki olayın gerçekleşip gerçekleşmemesine bağlı olarak ikiye böleceğiz. Sonraki olayın sonucuna göre geriye kalan kollar yine ikiye ayrılacak. Bu süreç, sistemdeki tüm olaylar

incelenene kadar devam edecek. Olay ağacı üzerindeki ardışık kollar, analisti farklı sonuçlara yönlendirecektir. Olay ağacının sağ tarafındaki her sonucun olasılığı, o sonuca ulaşan tüm kolların olasılıklarının çarpımına eşittir. Ayrıca, yaygın ancak bağlayıcılığı olmayan bir görüşe göre, sistemin başarısını veya başarısızlığını belirleyen ara olaylardan birincisinin başarısızlıkla sonuçlanan kolu aşağıya doğru çizilir ve bu durum "başarısız" veya "hata" olarak değerlendirilmektedir (Huang vd., 2001; Vaurio, 2001; Ventikos & Psaraftis, 2004). Bir tetikleyici olayı içeren ve bu olay için 3 önlem seçilerek oluşturulan örnek bir olay ağacı analizi akış çizelgesi ve sonuçları Şekil 16da gösterilmiştir. Sistem, 3 önlemliden, $2^3 = 16$ adet farklı olasılıklı sonuca sahip olacaktır.

Olay ağacı analizi, gemi havuzlanma operasyonlarında çok sayıda potansiyel riski içerdiğinden ve bu risklerin önlenmesi için alınacak önlemlerin önemi büyük olduğundan, başlangıçtaki riskin kabul edilebilir olup olmadığını veya kazaya dönüşme potansiyelinin ne kadar olduğunu sayısal olarak ifade etmek için uygulanabilecek bir yöntemdir (Kim, 2024; Kumpun & Ketsakorn, 2022; Veljanovski & Čepin, 2024). Gemi havuzlanma operasyonlarında, tetikleyici olaylara örnek olarak; havuz kazası gösterilebilmektedir.



Şekil 16. Örnek bir olay ağacı analizi ve sonuçları

Olay ağacı analiz yönteminin üstün yönleri sırasıyla (Khodabandehloo, 1996).

- Yapısal, kesin ve sistematik bir yaklaşım sunar,
- Çalışmaların büyük bir kısmı bilgisayar kullanılarak yapılır,

- Tasarım detaylarının çeşitli basamakları üzerinden etkili bir şekilde uygulanabilir,
- Sebep-sonuç ilişkilerini ortaya koyan görsel bir model sunar,
- Öğrenilmesi ve uygulanması göreceli olarak kolaydır,
- Karışık sistemsel ilişkileri anlaşılabilir bir düzeyde modeller,
- Sistem sınırları içerisinde hatalı/başarısız kollar izlenebilir,
- Donanımsal, yazılımsal, çevresel ve beşeri ilişkiler etkileşim içerisinde,
- Ticari yazılımı bulunmaktadır.

Olay ağacı analiz yönteminin zayıf yönleri sırasıyla (Khodabandehloo, 1996).

- Bir olay ağacı analizi sadece bir tetikleyici olay için oluşturulabilir. Bu nedenle, birden çok tetikleyici olayın sonuçlarını değerlendirmek için birden çok olay ağacı oluşturulması gerekmektedir,
- Olaylar modellenirken sistem değişkenleri gözden kaçabilmektedir,
- Kısmi başarı/hatalar fark edilmeyebilir,
- Yöntem, deneyimli bir analizeciye gerek duymaktadır.

1.9. Kanıta Dayalı Muhakeme Yöntemi (ER)

Denizcilik sektöründe olduğu gibi birçok sektörde; teknik, operasyonel ve yönetsel seviyelerde karar verme süreçlerinden faydalanılmaktadır (X. Yang vd., 2013; Zhang vd., 2020). Endüstrilerdeki tipik ve olağandışı işlemler, temelde gerçekleşen bu karar alma süreçlerinde çeşitli niteliklerde ve niceliklerde birden fazla verinin değerlendirilmesini gerektirebilir. Zaman zaman karar alma sürecini karmaşıklaştıran belirsizlikler de bu sürece dahil edilebilir. Bu sebeple özellikle önemli işletme ve yönetim kararlarını en eksiksiz, en doğru ve en hızlı şekilde almak zorlu bir süreçtir. Bu alanda, karar verenlere destek olmak için MCDA teknikleri ve yazılımları geliştirilmiştir (Jiang vd., 2019; Xiaowei vd., 2024; Xu & Yang, 2003). MCDA teknikleri esas olarak belirli performans ölçütlerine uygun, karar vericinin bir veya birkaçını seçmesi gereken alternatiflerin aralarında kıyaslanması, muhakemesi ve performansının derecelendirilmesi mantığı ile çalışmaktadır (Aminravan vd., 2012; Elidolu vd., 2023a; Huang vd., 2020; Qin vd., 2020; Uflaz vd., 2023). Mevcut literatürde, yer alan MCDA yaklaşımları aşağıdaki tanımlanan ana problemleri çözmek konusunda karar vericilere destek olmayı amaçlamaktadır.

Tanımlama Problemleri: Genel olarak karar süreçlerinin ilk basamağıdır. Karar sürecindeki problemin ve bu problemi etkileyen, meydana getiren performans kriterlerinin belirlenmesi süreçlerinden oluşmaktadır. Bu amaca uygun olarak kullanılan, Etkileşimli Yardım için Geometrik Analiz (GAIA) ve Akış Sıralamalı GAIA (FS-GAIA) yöntemleri örnek olarak vermek mümkündür (Mareschal vd., 2010; Nemery vd., 2012).

Tercih Problemleri: İstenilen performans kriterlerine uygun belli ve sınırlı sayıda alternatiften birinin veya birkaçının seçilmesini zorunlu kılan karar verme süreçlerini kapsamaktadır. Bu amaca uygun olarak kullanılan, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Çok Kriterli Yarar Teorisi (MAUT), Kategori Bazlı Bir Değerlendirme Tekniğiyle Yararlılığı Ölçme (MACBETH), Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Metodu (PROMETHEE) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sipariş Performansı Tekniği (TOPSIS) yöntemleri örnek vermek mümkündür (Aminravan vd., 2012; Huang vd., 2020; Ren vd., 2005; Y. F. Wang vd., 2013).

Sıralama Problemleri: Hali hazırdaki alternatiflerden beklenen performans ölçütlerine göre sıralanmasını hedefleyen süreçleri kapsamaktadır. Bu amaca uygun olarak kullanılan, AHP Sıralama, ANP, MAUT, MACBETH metodu, PROMETHEE metodu, TOPSIS metodu ve Gerçekliği Çeviren Eliminasyon yöntemleri örnek vermek mümkündür (Çelik vd., 2009a; Ferdous vd., 2011; Jiang vd., 2019; Nemery vd., 2012).

Problemlerin nicel ve nitel olarak doğru bir şekilde modellendiğinde, değerlendirme kriterleri ve alternatifler doğru olarak ifade edildiğinde MCDA yöntemleri ile güvenilir ve etkili sonuçlar elde edilebilmektedir (Jiang vd., 2019; Liu vd., 2022; Nwaoha vd., 2011). Alternatifleri sıralamak veya seçmek için kullandığı algoritmayla ilişkili olarak yukarıda açıklanan yöntemlerin en değerli farklılıklarından biri belirsizlik içeren karar verme sürecine yaklaşımıdır. Yetersiz ve belirsizlik bilgi ile karar verme problemleri çözüme ulaştırma amacıyla Bulanık Mantık ve Yapay Zeka tekniklerini MCDA yöntemlerine entegre etmeye yönelik birtakım çalışma yapılmıştır (Cai vd., 2013; D. Wang vd., 2013; Zhang vd., 2018). Son zamanlarda bu çalışmaların sonuçlarıyla ortaya konmuş farklı endüstrilerde karar verme ve alternatifleri analiz etme hususunda çoğunlukla tercih edilen ER yöntemi geliştirilmiştir (Sezer vd., 2023; Tunçel vd., 2024; Y. F. Wang vd., 2013; Xiaowei vd., 2024).

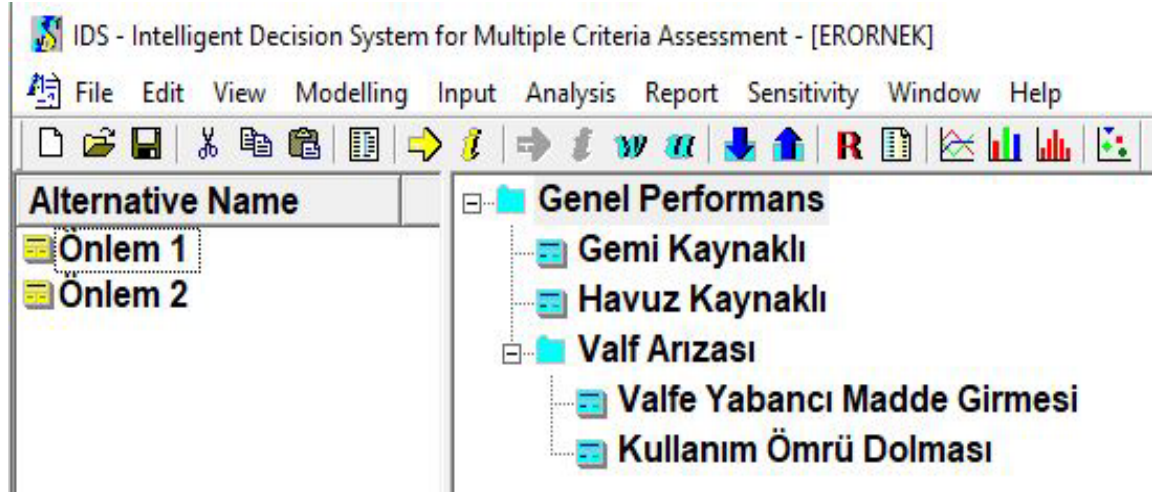
ER yöntemi temeli, değerlendirme modeli ve Dempster-Schafer (D-S) kanıt teorilerini esas almaktadır (Kyburg Jr, 1987; Nair vd., 2015; Yen, 2008). ER yöntemi, demiryolu, mühendislik, emniyet ve risk değerlendirmesi, finansal süreç ve tedarikçilerin değerlendirmelerinde karar verme sorunlarının çözümünde başvurulmuştur (Aminravan vd.,

2012; Huang vd., 2020; Jiang vd., 2019; Ren vd., 2005; Y. F. Wang vd., 2013). ER yönteminin oluşturan esas unsurlarını, karar verme sorununa uygun olarak geliştirilmiş bir hiyerarşik yapı ve D-S kanıt teorisinin kombinasyonu oluşturmaktadır (Lowrance vd., 2008; D. Wang vd., 2013; Xu & Yang, 2001).

Öncelikle karar vermeye konu problemin tanımlanması ile ER algoritması çalışmaya başlamaktadır. Örnek olarak; karar verici bir emniyet otoritesinin gemi havuzlanma operasyonlarında havuz kazalarının azaltılması ve deniz emniyetinin arttırılması amacıyla 2 tane alternatif önlem (Önlem 1 ve Önlem 2) uygulamak istediğini var sayarsak. Bu durumda alternatif iki önlem ilgili operasyonlarda kazaların önlemesi hususundaki etkinliği genel performansın değerlendirilmesi karar verme sorunu olarak ta tanımlanabilmektedir. Alternatiflerin değerlendirilebilmesi amacıyla öncelikli olarak yapıda bulunan her bir değerlendirme kriterleri için değerlendirme ölçeği belirlenmelidir. Değerlendirme ölçeği, verilecek olan kararların hassasiyetine göre 3'lü, 5'li veya 7'li seçilebilmektedir (Sezer vd., 2023; Xiaowei vd., 2024; Xu & Yang, 2001). Çok kriterli karar analizlerinde sözel ölçek marifetiyle niteliksel özellikler bakış açısına göre bir alternatifin bir diğerinden farklılaştırarak basitleştirmek amaçlanmaktadır (Jiang vd., 2019). Örnek olarak: bir otoritenin alacağı emniyet önlemlerinin kazalara yönelik hafifletici etkisinin genel performansına etkisi için; Çok düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok yüksek tanımlamalarından birinin seçilmesi, sayısal yanıtlar verebilmesine görece daha basit olacaktır. Aşağıdaki örnekte 5'li değerlendirme ölçeği (Çok kötü, Kötü, Ortalama, Yüksek, Çok Yüksek) kullanılmaktadır. Bu sebeple, H_n , n'inci değerlendirmesini tanımlayacak beş değerlendirme terimi için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Huang vd., 2020; Jiang vd., 2019).

$$H_n = (\text{Çok Kötü } (H_1), \text{Kötü } (H_2), \text{Ortalama } (H_3), \text{Yüksek } (H_4), \text{Çok Yüksek } (H_5)) \quad (21)$$

Problem tanımlanmasının devamında alternatiflerin değerlendirilirken dikkat edilmesi gereken değişkenler kümesinin oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan değişkenler kümesinin genel ve temel değerlendirme kriterlerinin tamamını içeren bir hiyerarşik yapı düzeni içinde olması gerekmektedir. Değişkenler ve hiyerarşik yapı, verilen problemin tanımı ve kapsamı için uygun olmalıdır. Örnek olarak oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 17. Örnek ER model hiyerarşik yapı ve alternatifleri

Bir emniyet tedbirinin (Önlem 1 ve 2) kazaları önleme konusundaki genel performansı oldukça genel bir tanımlamadır. Bu sebeple performansın tek başına detaylı bir biçimde değerlendirilebilmesi kolay olmayacaktır. Genel performans kriterinin alt kriterlere bölünmesi ve değerlendirme kriterlerinin somutlaştırılarak daha kolay anlaşılabilir ve yorumlanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için hiyerarşik yapı yapılandırılırken en üst kriter: Genel Performans; Gemi Kaynaklı, Havuz Kaynaklı ve Valf Arızası olmak üzere 3 alt kriterle bölünmüştür. Bu durumda Önlem 1'in kazalar üzerindeki azaltıcı etkisi alt kriterler üzerinden değerlendirilerek yorumlanması daha basit olacaktır (Şekil 17).

Hiyerarşik yapı son haline getirilirken optimum seviyede ayrıntılı olması ve alt kriterleri içermesi gerekmektedir. Değerlendirme kriterleri ayrıntılı ve detaylı olarak her bir alternatif için doğrudan algılanabilecek şekilde net ve somut olmalıdır. Sunulan örnekte; Önlem 1'in, Valf Arızası kriteri üzerindeki etkisi (α), Valfe Yabancı Madde Girmesi kaynaklı kazaları azaltmaya etkisi (α_1) ve Kullanım Ömrü Dolması kaynaklı kazaları azaltmaya etkisi (α_2) ile ölçülecektir (Şekil 17).

Bir hiyerarşik değerlendirmede, alternatiflerin üst seviyedeki bir kriter için performansı, o kriterle ilişkili, alt düzey kriterler aracılığı ile değerlendirilmektedir. Örnek olarak, kaza önlemeye yönelik bir tedbirin (Önlem 1) valfe yabancı madde girmesi için Valf Arızası (valfin midye ile kaplanması, valfin yosun ile dolması) ve kullanım ömrü dolması Valf Arızası (bakım tutum yapılmaması, yeni ile değiştirilmemesi) kaynaklı kazaları kısmen veya büyük ölçüde azalttığı değerlendirilirse, Valf Arızası genel kriteri için de performansı iyi olarak değerlendirilir. ER yönteminde niteliksel kriterlerin değerlendirilmesinde, belirsiz

yargılar da kullanılabilmeyle, algoritma belirsizlikler altında da alternatifleri sıralayabilmektedir (Huang vd., 2020; Nair vd., 2015; Xu & Yang, 2001). Örnek olarak, değerlendiriciler, Önlem 1'in Valf Arızası kriteri için performansını aşağıdaki gibi değerlendirebilir:

- Valfe Yabancı Madde Girmesi kaynaklı kazaları azaltabileceğine: %30 “orta” seviyede inanmakta, %50 ise “düşük” seviyede inanmakta;
- Kullanım Ömrü Dolması kaynaklı kazaları azaltabileceğine: %20 “yüksek” seviyede inanmakta, %80 ise “orta” seviyede inanmakta.

Yukarıdaki değerlendirmelerde, %30, %50, %20 ve %80 sayıları uzmanların inanç dereceleri olarak adlandırılır ve çoğunlukla ondalık formatta kullanılır (0,3; 0,5; 0,2 ve 0,8). İlk değerlendirmede toplam inanç derecesi $0,3 + 0,5 \neq 1,0$ olduğu için bu değerlendirme “eksik” değerlendirme olarak tanımlanmaktadır. İkinci değerlendirme ise $0,2 + 0,8 = 1,0$ olduğundan “tam” olarak tanımlanmaktadır. İlk değerlendirmedeki eksik olan “0,2” değeri, “belirsizliğin” derecesini temsil etmektedir (Elidolu vd., 2023b; Kyburg Jr, 1987; Nemery vd., 2012; Tunçel vd., 2024). Bu şekilde bir durum, birçok Çok Kriterli Analiz Yöntemlerinde (UTA, MACBETH, DEA vb.), bu iki yargıyı rasyonel bir şekilde bir araya getirerek Valf Arızası kriteri hakkındaki genel değerlendirme yapılması aşamasında problem teşkil etmektedir (Elidolu vd., 2023a; Huang vd., 2020; Jiang vd., 2019; Tunçel vd., 2024). Benzer durum ER yöntemi, bu sorunu çözmek için etkili ve uygun bir araçtır (Lowrance vd., 2008; Qin vd., 2020; Ren vd., 2005).

ER algoritmasının asıl gösterimi için öncelikle, üst düzeyde genel bir öznitelik ve alt düzeyde bir dizi temel öznitelik içeren iki seviyeli basit bir öznitelik hiyerarşisi olduğunu varsayılırsa. Bu hiyerarşik yapıda yer alan ve üst kriter olan α ile ilişkili olan T tane alt kriter $e_i = (i = 1, \dots, T)$ olduğunu kabul edildiğinde, temel kriterler seti aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (denklem 22).

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_T) \quad (22)$$

Her bir kriterin ağırlıklarının ise aşağıdaki denklemde (23) olduğu gibi verildiği varsayıldığında:

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_T) \quad (23)$$

Bu denklemde ω_i , i 'inci temel özelliğin (e_i) göreceli ağırlığıdır ve $0 \leq \omega_i \leq 1$ olacak şekilde değer almaktadır. Ağırlıklar performans kriterlerinin kendileri arasında önemini belirtmesi sebebiyle değerlendirmelerde çok önemli bir rol oynamaktadır. Mevcut temel derecelendirme yaklaşımları (Bulanık Mantık, frekans analizleri, görülme sıklığı vb.), veya özniteliklerin ikili karşılaştırmalarına dayanan daha ayrıntılı yaklaşımlar kullanılarak belirlenebilmektedir (Elidolu vd., 2023b; Jiang vd., 2019; Ren vd., 2005; Uflaz vd., 2023).

Bir kriterin değerlendirilebilmesi için uygun sayıda (3, 5 veya 7) puana sahip ve tam bir standart ölçek ile tanımlanmış N farklı değerlendirme notunun olduğunu varsayarsak, bu değerlendirme seti aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (24):

$$H = (H_1, H_2, \dots, H_n, \dots, H_N) \quad (24)$$

Bu denklemde, H_n , n 'inci değerlendirme skorudur ve H_{n+1} 'in, H_n 'ye tercih edildiği varsayılmaktadır yani, değerlendirme skorları kötüden iyiye olacak şekilde sıralıdır (Nwaoha vd., 2011). Bu durumda herhangi bir alternatifin, belirli bir performans kriterine $e_i = (i = 1, \dots, T)$ için verilen bir değerlendirme matematiksel olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (25):

$$S(e_i) = \left((H_n \beta_{n,i}, n) = 1, \dots, N \right), i = 1, \dots, T \quad (25)$$

Bu eşitlikte, $\beta_{n,i} \geq 0, \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \leq 1$ ve $\beta_{n,i}$ belirli bir değerlendirme notu verilen bir kriterin inanç derecesini ifade etmektedir. Diğer bir manada, e_i niteliğinin $\beta_{n,i}, n = 1, \dots, N$, inanç derecesi ile H_n değerlendirme notuna göre değerlendirilmesidir. Bir özneliliğin değerlendirmesini temsil eden $S(e_i)$ değeri, inanç derecelerinin toplamı 1'e eşitse “tam” olarak adlandırılmaktadır (Xu & Yang, 2001).

Bir genel kriterin (o), H_n değerlendirme notuna göre değerlendirildiği inanç derecesi β_n olsun. Sorun, üst kriter ile ilişkili tüm temel kriterlerin $e_i = (i = 1, \dots, T)$ değerlendirmelerini bir araya getirerek kombine edilmiş bir $\beta_n (n = 1, \dots, N)$ değerinin eşitlik 5'te verildiği gibi üretilmesidir. ER algoritması bu sorunun çözümünde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Temel bir olasılık kütesini temsil eden $m_{n,i}$, i 'inci temel kriterin e_i ait olduğu o üst kriterinin n 'inci derecesindeki H_n değerlendirme notuna göre değerlendirildiği ve performansı belirten bir değer olsun. Benzer şekilde, üst kriterin (o) değerlendirilmesi

için tüm değerlendirme notları dikkate alındıktan sonra, herhangi bir sınıfa atanmamış durumdaki olasılık kütleleri ise $m_{H,i}$ olsun (Nair vd., 2015; Nwaoha vd., 2011; Ren vd., 2005; Xu & Yang, 2001). Bu koşulda temel kriterler (e_i) üzerinden, kombine olasılık kütleleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır (26):

$$m_{n,i} = \omega_i \beta_{n,i} \quad n = 1, \dots, N \quad (26)$$

Benzer şekilde $m_{H,i}$ de aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (27):

$$m_{H,i} = 1 - \sum_{n=1}^N m_{n,i} = 1 - \omega_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \quad (27)$$

Ayrıca, $E_{I(i)}$ değeri, i temel kriterlerinin bir alt kümesi olarak şu şekilde tanımlanmaktadır (28).

$$E_{I(i)} = (e_1, e_2, \dots, e_i) \quad (28)$$

Temel bir olasılık kütlelerini temsil eden $m_{n,I(i)}$, $E_{I(i)}$ 'deki bütün i özneliklerinin o'nun H_n değerlendirme notuna göre değerlendirildiği ve performansı belirten bir değer olsun. Benzer şekilde, $m_{H,I(i)}$ ise, $E_{I(i)}$ 'deki bütün temel kriterler değerlendirildikten sonra atanmamış kalan olasılık kütleleri olsun. Burada belirtilen $m_{n,I(i)}$ ve $m_{H,I(i)}$ terimleri, tüm $n = 1, \dots, N$ ve $j = 1, \dots, i$ değerleri için temel olasılık kütleleri $m_{n,j}$ ve $m_{H,j}$ kombine edilerek hesaplanmaktadır (Jiang vd., 2019; Trucco vd., 2008; Xu & Yang, 2001; X. Yang vd., 2013). Yapılan tanımlamalar ve terimler dikkate alındığında, temel ER algoritması aşağıdaki denklemlerle (29, 30, 31) ifade edilmektedir:

$$m_{n,I(i+1)} = K_{I(i+1)} (m_{n,I(i)} m_{n,i+1} + m_{n,I(i)} m_{H,i+1} + m_{H,I(i)} m_{n,i+1}) \quad n = 1, \dots, N \quad (29)$$

$$m_{H,I(i+1)} = K_{I(i+1)} m_{H,I(i)} m_{H,i+1} \quad (30)$$

$$K_{I(i+1)} = \left[1 - \sum_{t=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 1}}^N m_{t,I(i)} m_{j,i+1} \right]^{-1} \quad i = 1, \dots, T-1 \quad (31)$$

Bu eşitlikte $K_{I(i+1)}$ değeri, $\sum_{n=1}^N m_{n,I(i+1)} + m_{H,I(i+1)} = 1$ olacak şekilde normalleştirici bir aktördür. Ayrıca bu eşitlikte, $n = 1, \dots, N$ olmak üzere $m_{n,I(1)} = m_{n,1}$ ve $m_{H,I(1)} = m_{H,1}$ olduğuna dikkat etmek önemlidir. Burada her zaman, E'deki temel değerlendirme kriterleri sübjektif olarak numaralandırılır, yani $m_{n,I(L)}$ ve $m_{H,I(L)}$ sonuç değerleri temel kriterlerin toplanma sırasından ayrıdır (Xu & Yang, 2001; X. Yang vd., 2013; Yu vd., 2021). Ayriyeten, ER algoritmasındaki karar verme sürecini neticelendirmek ve tek bir değer üzerinden daha basit yorum yapabilmek için birleşik inanç derecesi β_n hesaplanmalıdır. ER algoritmasında, β_n inanç değeri aşağıdaki denklemle hesaplanır (32):

$$\beta_n = m_{n,I(L)}, n = 1, \dots, N, i = 1, \dots, L, \beta_H = m_{H,I(L)} = 1 - \sum_{n=1}^N \beta_n \quad (32)$$

Burada, β_H , bütün temel kriterler uygun şekilde değerlendirildikten sonra herhangi bir değerlendirme notuna atanmamış olan inanç derecesini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, β_H değeri, varsa değerlendirmedeki eksiklik derecesi bulunmaktadır (Huang vd., 2020; Xu & Yang, 2001).

Son basamakta, bütün değerlendirme kriterleri, ER algoritmasından toplanan inanç derecelerine göre sıralanmalıdır. Bu, bir yardımcı eşitlik kullanılarak yapılabilmektedir. Bir değerlendirme notunun (H_n) faydasının, $u(H_n)$ ile gösterildiği varsayılırsa. Değerlendirme notunun faydası, beşli ölçek kullanılacağı varsayıldığında, $u(H_1) = 0$ ve $u(H_5) = 1$ öncesinden belirlenmelidir. Eğer değerlendirme ölçeğinin fayda değerleri için özel bir tercih yapılma niyeti yoksa, aşağıdaki denklemde (33) gösterildiği gibi $u(H_n)$ değerleri eşit artan olarak alınabilir (Xu & Yang, 2001):

$$u(H_n) = (u(H_1) = 0, u(H_2) = 0.25, u(H_3) = 0.5, u(H_4) = 0.75, u(H_5) = 1) \quad (33)$$

Genel ve temel nitelikler için fayda değerleri, değerlendirme notları seti verildiğinde aşağıdaki denklem (34) yardımıyla hesaplanabilir.

$$u(S(z(e_i))) = \sum_{n=1}^N u(H_n) \beta_n(e_i) \quad (34)$$

Bu eşitlikte (34), $\beta_n(e_i)$ terimi, e_i 'nin bir H_n derecesine göre değerlendirilme olasılığının alt sınırını belirtmektedir. Üst sınır ise $\beta_n(e_i) + \beta_H(e_i)$ ile hesaplanır. Bu eşitlik (34), eksik bir inanç derecesi olduğu varsayımı ile verilmiştir. $\sum_{n=1}^N \beta_n = 1$ olması durumunda, fayda değerleri tahminidir ve her kriter için bir sıra belirlenmektedir (Xu & Yang, 2001; Yu vd., 2021). Bu çalışmada ER yöntemi, gemi havuzlanma operasyonlarında meydana gelen havuz kazaların oluşumunu önlemeye yönelik sunulacak tedbirlerin ortaya konması ve sıralanması amacıyla kullanılmıştır.

1.10. Benzer Çalışmalar

Çalışmada incelenen havuz kazaları ve analizinde kullanılan yöntemler (FFTA, ETA ve ER) ile alakalı olarak literatürde bir sürü değişik türde çalışmaya rastlanılmıştır. Çalışma sayısının fazla olması sebebiyle bu bölümde incelenen gemi havuzlanma operasyonlarında yaşanan sorunlar ve kullanılan her bir metod için alt başlıklar halinde derlenmiştir. Bu sayede okuyucuların mevcut literatürün çalışma kapsamı uyarınca daha kolay takip edebilmesi amaçlanmıştır.

1.10.1. Havuz Kazaları Literatürü

Heger, (2003), yapmış olduğu çalışmasında, son birkaç yıl içinde yüzer havuz dubalarının enine bükülme arızalarını içeren üç ayrı kaza yaşandığına değinmiş. Her üç kaza da, uzunlamasına çerçeveli duba güvertelerine sahip olan ve duba güvertesi plakasının burulma mukavemetine aşırı yük bindirecek şekilde çalıştırılan yüzer havuzlar olduğunu irdilemiş. Boyuna olarak sertleştirilmiş duba güverteleri, uzun eksenleri iskelenin uzunlamasına eksenine paralel ve bir gemi yanaşırken plakadaki enine basınç gerilimi çizgisine dik olan çelik plaka panellere sahip olduğunu belirtmiş. Bu yönlendirme, havuzun eksenine çapraz olarak yönlendirilen benzer boyuttaki bir panele göre çok daha düşük bir gerilim altında bükülecek bir panelle sonuçlandığı bulmuş. Her üç kaza da gemileri havuzlanma sırasında genel nominal kapasitesi dahilinde kaldırırken meydana geldiğine değinmiş. Üç kazanın her birinin başarısızlıklara neden olan farklı temel nedenleri olduğuna değinerek. Bu kazaların, arıza nedenleri ve gelecekte benzer kazaların yaşanmasının nasıl önlenebileceğini önermiştir (Heger, 2003).

Dymarski ve Popek, (2005), yapmış oldukları çalışmada yüzer havuzlar için alternatif tasarım konseptleri ve bunların yüzer iskele için gemi yanaşma sistemlerinin karşılaştırmalı

analizini yapmışlardır. Yüzer havuz, EKOLOJİK DOCK E!2968 projesi kapsamında Gdańsk Teknoloji Üniversitesi Okyanus Mühendisliği ve Gemi Teknolojisi Fakültesi'nden bir ekip tarafından tasarlanmıştır. Sunulan tasarım çözümleri, esas olarak uygulanan ekipmanların türüne göre farklılık göstermektedir: ilk durumda bunlar halat ırgatları ve yanaşma römorkörleri, diğerinde ise halatlı çözümlü vinçleridir. Belirlenen her iki sistem için, diğerlerinin yanı sıra bunların özelliklerinin, yapımının karışıklığı ve ilgili maliyetlerin de dikkate alındığı karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sunulan analiz havuz kaptanları için daha uygun bir sistem seçmede yardımcı olabilmektedir (Dymarski & Popek, 2005).

Korotaev vd.,(2016), yapmış oldukları çalışmada, eğilme büyüklüğünün güvenilir bir şekilde ölçülmesi, yüzer havuz işletimindeki en önemli görevlerden birini ifade ettiğine değinmişler. Eğilme hakkında güncel ve doğru bilgilerin, alarmları ve yerleşik eğilme kompanzasyon sistemlerini etkinleştirerek yapısal hasarı ve arızayı önleyebildiği dair test yapmışlar. Yüzer havuzlar için bir eğilme ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekliliğini açıklamışlar. Ölçüm sistemi, bir havuzun yapısının gerçek eğilimini gerçek zamanlı ve tam otomatik modda ölçebildiği. Sistem, ışık yayan diyotlara dayalı bir dizi referans işaretinden ve karşılıklı olarak yönlendirilmiş iki kamera tabanlı kanala sahip bir ölçüm biriminden oluştuğu. Ölçü birimi, havuzun kanat güvertesinin ortasına yerleştirilmiş ve referans işaretleri kanat güvertesi boyunca konumlandırılmıştır. Laboratuvar testleri sırasında 100 m'den daha uzun havuzlar için 7150 mm aralığında 71:5 mm'lik eğilme ölçümünün doğruluğu elde edilmiştir. Sistemin zorlu ortamlara (tuz sisi, sıcaklık gradyanı, yüksek nem vb.) karşı direnci ve 7/24 rejimde ölçüm yapabilme yeteneği, çalışır durumda yüzer bir havuzda yapılan saha testleri ile kanıtlanmışlardır (Korotaev vd., 2016).

Njumo, (2017), yapmış olduğu çalışmada, çok az veya sınırlı referans bulunan bir konuyu yansıtmakta olan, profesyonel ve pratik yüzer havuz operatörlerinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla gerçekleştirmiştir. Yüzer havuzlardaki tehlike riski, geçmiş arıza verilerinin mevcut olmadığı bir durumda ayrık bulanık küme teorisi (FST) ve kanıtsal akıl yürütme (ER) yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmişler. Bulanık küme modelleme, dilsel değişkenler kavramını kullanarak stabilite endişeleri nedeniyle yüzer havuzlardaki temel arıza olaylarının nedenlerinin emniyet seviyelerini tahmin etmek için kullanılmış ve bu tür değişkenlerle sistematik bir şekilde başa çıkmak için bir bakış açısı sağlar. ER yaklaşımı, tehlikelerin/temel tehlike olaylarının nedenlerinin tahmini güvenlik seviyelerini sentezlemek için kullanılmış. Sonuç olarak yüzer havuzlarla ilgili riskler belirlenmiş. Bu risk

maddelerinin, teknik ve çevresel boyutlarla ilişkili olası riskleri kapsayan bir kontrol listesi oluşturulmuştur (Njumo, 2017).

Atehnjia, (2018), yapmış olduğu çalışmada, gemi havuzlanma sorunlarının mevcut durumunu belirlemek için yüzer havuzların eleştirel bir incelemesini yapmıştır. Yüzer havuz sistemi üzerinde, sistemin düzenini, eğilimlerini ve yüzer havuz sisteminin seçimini etkileyen faktörleri vurgulayan bir arka plan çalışması yürütmüştür. Gemi havuzlanma özelliklerinin de gözden geçirilerek yüzer havuzlara ilişkin ilgili standartlar ve düzenlemeler sunmuştur (Atehnjia, 2018).

Kaup vd., (2018), yapmış oldukları çalışmada, gemi havuzlanma operasyonları sırasındaki emniyete değinmişler. Bu tür bir operasyonun özelliklerini ortaya koyarak, operasyonu sırasında oluşabilecek seçilmiş sorunları tanımlayıp ve olağanüstü durumları başlatan ana faktörleri belirlemişler. Seçilmiş sorunlar ile olağanüstü durumları başlatan faktörler için sebep-sonuç analizi yapılmış ve grafiksel olarak sunulmuştur. Bu analiz, gemi havuzlanma operasyonu sırasında emniyet sisteminde meydana gelen hataları gün yüzüne çıkarmıştır (Kaup vd., 2018).

Sadeghi, vd., (2018), yapmış oldukları çalışmada, yüzer havuzlar aşırı nem derecesi, deniz koşulları, özel yükleme aşamaları ve deniz ortamıyla ilgili diğer koşullar gibi özel koşullara maruz kaldığına değinmiş. Bu sebeple yüzer havuz tasarımı ve inşası için genel bir kılavuz ve genel bakış sunmuştur. Havuzların yüzer havuzlar ve kuru havuzlar olmak üzere iki türe ayrıldığı; yüzer havuzlar için bu yapılar ticaret, gemi demirleme, askeri hizmetler ve diğer hizmetler gibi insan hizmetleri için inşa edilirken, kuru havuzlar gemi hizmetleri için tasarlanıp inşa edildiği üzerinde durmuşlar. İki havuz tipi özelinde avantaj ve dezavantajlarına değinmiştir (Sadeghi vd., 2018).

1.10.2. Bulanık Yaklaşımlı Hata Ağacı Yöntemi Literatürü

Li vd., (2022), yapmış oldukları çalışmada, FFTA yöntemiyle birleştirilmiş uzman kapsamlı değerlendirme (ECE) yöntemine dayalı olarak makine dairesi yangını koşulları altında bir geminin güç sistemi için bir risk değerlendirme yöntemi sunmaktadır. Makine dairesindeki ana makine sisteminin bileşimi ve her bir alt sistemin arıza mantığı analiz edilmiş ve bir gemi makine dairesi yangınının FFTA oluşturulmuştur. Sistem arızası olasılığı ve temel olayların önemi hesaplanmış. Yangın güvenliği risk değerlendirme modeli, güvenlik riski matrisi kullanılarak oluşturulmuştur. Bir gemi makine dairesi yangınına

ilişkin risk değerlendirmesi uygulanmış. Sonuç olarak, gemi makine dairesinin yangın sıklığının $5.232 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ olduğu bulunmuştur. Ana makine yakıt sisteminin yangın riski en yüksek olduğu ve dizel besleme tanklarından ve ağır yakıt tanklarından gelen yakıt sızıntıları kazaların ana nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Önerilen yöntem, risk değerlendirme sürecinde eksik istatistiklerin etkisini ortadan kaldırarak, yeniden değerlendirme sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmıştır (Li vd., 2022).

Gürgen vd., (2023), yapmış oldukları çalışmada, FFTA kullanılarak bir geminin dümen tutma yeteneğinin kaydından kaynaklanan kazaların temel nedenlerini araştırmıştır. Dümen donanımı hidrolik gücünün arızalanması, dümenin arızalanması ve dümen donanımı kontrolünün arızalanması, geminin manevra kabiliyeti kaybında en yaygın üç nedeni olduğunu bulmuşlar. Sonuç olarak, "dümen dişlisi hidrolik güç arızasının" en yüksek meydana gelme olasılığına sahip olduğunu, bunu azalan sırayla "dümen arızası" ve "dümen dişlisi kontrol arızasının" izlediğini göstermişlerdir. En önemli olay olan dümen tutma kabiliyeti kaybının gerçekleşme olasılığı $4,86 \times 10^{-2}$ olarak hesaplamışlar. Minimum kesim setinin (MCS) incelenmesi sonucu, "sızdırmazlıklardan çevreye yağ sızmasının" en tehlikeli olay olduğunu belirlenmiş. En düşük oluşma olasılığına sahip MCS, ana güç kaynağı arızası ile acil durum güç kaynağı arızasının birleşimi olduğunu bulmuşlar. Bu çalışmanın bulguları deniz emniyetine, çevrenin korunmasına ve küresel ekonomiye önemli teorik ve uygulamalı katkılar sağlamıştır (Gürgen vd., 2023).

Kaushik ve Kumar, (2023), yapmış oldukları çalışmada, kesin olmayan ve yetersiz arıza verileri durumunda sistem arıza olasılığının değerlendirilmesi için bütünleşmiş bir sezgisel FFTA ve Bayesian ağ tabanlı yöntem önerilmektedir. 'Gemi yanaşma operasyonu sırasında kopan halat yaralanmasının' temel nedenleri FTA kullanılarak elde edilmiştir. Belirsizlikle daha iyi başa çıkmak için sezgisel FFTA'ya dayalı geliştirilmiş benzerlik toplama yöntemi önerilmiştir. Yeni kanıtların başarısızlık olasılıklarını güncellemek için Bayes ağ modeli oluşturulmuş olup. Sistem arıza ağacındaki temel olayların önem sıralaması, sistem arızasındaki her bir temel olayın katkısını belirlemek için 'Fussell-Vesely önem' ölçüsü kullanılarak verilmiştir. Sonuç olarak, önerilen yaklaşımın, bileşenlerin istatistiksel başarısızlık verilerinin tam olarak mevcut olmadığı durumlarda olasılıksal güvenilirlik değerlendirmesi için bir alternatif olduğu gösterilmektedir. Bu sonuç ile karar vericilerin ve kullanıcıların risk yönetimi sürecinde önleyici ve düzeltici faaliyetlere yönelik kararlar almalarına yardımcı olunmuştur (Kaushik & Kumar, 2023).

Tunçel vd., (2023), yapmış oldukları çalışmada, dökme yük gemilerindeki yangın ve patlama kazaları için bulanık mantık, FTA ve Kesim Seti Önem Ölçümü (CS-I) tekniği altında risk analizi yapmayı amaçlamışlar. FTA, sistem düzeyindeki hataların nedenlerini araştırmak için güçlü bir grafik aracı sunduğundan, bulanık kümeler, karar verme sürecindeki belirsizlik ve belirsizlikle ilgilenmiştir. Ayrıca bu tür kazaların oluşumunda en etkili kaza kombinasyonlarını ortaya çıkarmak amacıyla çalışmada CS-I tekniği kullanılmıştır. Sonuç olarak, dökme yük gemilerindeki yangın ve patlama riski olasılığının $9,27E-02$ olduğunu göstermiştir. Çalışmanın bulguları, riski azaltmak ve operasyonel güvenliği artırmak için önerilen kontrol eylemlerine dayanarak gemi sahiplerine, güvenlik müfettişlerine, dökme yük gemilerinin Sağlık, Güvenlik, Çevre ve Kalite (HSEQ) yöneticilerine değerli bilgiler sağlamıştır (Tunçel vd., 2023).

Şenol, (2024), yapmış olduğu çalışmada, insan faktörlü tüm yapısal, teknik ve operasyonel kök nedenlerin kırıltık riskine katkısı tespit edilmiştir. Arıza olasılıklarını Sezgisel Bulanık Entegre Hata Ağacı Analizi (IFFTA) kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre kimyasal yük sıkıntısının olasılıksal riski elde edilerek 0,0731 olarak bulunmuş ve bu sayı iki farklı yöntemle doğrulanmıştır. Doğrudan veya dolaylı insan faktörlerinin yük sıkıntısına yol açtığı ve tüm faktörlerin yaklaşık %84'ünü oluşturduğu bulunmuştur. Önerilen modelin, altta yatan insan kaynaklı nedenleri sistematik olarak ortaya çıkararak ilgili riski azaltmak için etkili bir çözüm sağladığına inanılmıştır (Şenol, 2024).

1.10.3. Olay Ağacı Yöntemi Literatürü

Delvosalle vd., (2006), yapmış oldukları çalışmayla, Endüstrilere Yönelik Kaza Riski Değerlendirme Metodolojisi (ARAMIS) projesi çerçevesinde, projenin kaza senaryolarının tanımlanmasına ayrılan kısmında yürütülen çalışmaları sunmayı amaçlamaktadır. Bu konu risk değerlendirmesinde önemli bir noktadır ve tüm risk ölçümü için temel teşkil etmektedir. Çalışmanın ilk sonucu, ekipman ve madde tipolojisine dayalı genel arıza ve ETA geliştirilmesiyle yürütülen büyük kaza tehlikelerinin (MIMAH) tanımlanmasına yönelik bir metodolojinin oluşturulmasıdır (Delvosalle vd., 2006).

Mokhtari vd., (2011), yapmış oldukları çalışma, deniz limanları ve açık deniz terminalleri operasyonları ve yönetimi (PTOM) amacıyla kullanılan önerilen Risk Yönetimi (RM) çerçevesinin risk değerlendirme aşamasını desteklemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu, genel bir papyon bazlı risk analizi çerçevesinin, aşamanın omurgası olarak risk

değerlendirme aşamasına entegre edilmiştir. Bu nedenle PTOM ile ilişkili risk faktörlerini analiz etmek için FTA ve ETA kullanılmıştır. Bu süreç sonuçta liman profesyonellerinin ve liman risk yöneticilerinin belirlenen risk faktörlerini daha detaylı araştırmasına yardımcı olunacaktır (Mokhtari vd., 2011).

Lower vd., (2016), yapmış oldukları çalışmada, bir Hava Trafik Olayının bir Hava Trafik Kazasına dönüşme olasılığına ilişkin bir tahmine dayalı olarak Hava Trafik Olaylarını analiz etmek için bir metodoloji sunmaktadır. Hava Trafik Olaylarına ilişkin detaylı bilgiye erişim sınırlıdır ve bu nedenle geliştirilen metodoloji Bulanık Küme Teorisi'ne dayanmaktadır. Analiz, gerçek bir Olaydan varsayımsal bir Kazaya giden ETA kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve çeşitli senaryoların meydana gelme olasılıkları bulanık kümeler tarafından tanımlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, Olayın Kazaya dönüşme olasılığının bulanık olasılığının hesaplanmasına olanak sağlamıştır (Lower vd., 2016).

Raiyan vd., (2017), yapmış oldukları çalışmada, kullanılan araç, tek bir faktörün diğer faktörlerle birleştiğinde veya birleştirildiğinde nasıl kazaya yol açabileceğini gösteren ETA'dır. Kaza analizinde yaygın olarak kullanılan bir araç olmasına rağmen, ETA ilk kez Bangladeş'teki deniz kazalarının analizinde niceliksel bir çalışma ile uygulanmıştır. Araştırma çalışması ETA'yı yalnızca bir araç olarak kullanmakla kalmamış, aynı zamanda olasılıksal bir analiz de gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, afete yol açması muhtemel faktörler tespit edilmiş ve daha sonra geçmiş kazalara ait verilerle değerlendirme yapılmıştır. Olasılık analizi, gemi aşırı yüklendiğinde kötü görüş sorunu çözülebilirse kaza sayısının önemli ölçüde azaltılabileceği bulgusunu ortaya çıkarmıştır. Olayların sırasını gösteren ETA, gelecekteki araştırmacıların ve sistem tasarımcılarının deniz kazalarına katkıda bulunan faktörleri bulup ortadan kaldırmalarına ve sonuçta çok yüksek orandaki felaketlerin önüne geçmelerine yardımcı olacaktır (Raiyan vd., 2017).

Veljanovski ve Cepin, (2024), yapmış oldukları çalışmada, Risk değerlendirmesinin finans alanında oynadığı önemli role rağmen, mühendislikteki güvenilirlik ve risk analizleri nadiren finansal analizlerle ilişkilendirilmiş, enerji santrallerine yönelik nakit akışı analizleri genellikle koşullu ve ardışık olayları hesaba katmaz. Bu nedenle, ilgili mali değerlendirmeler, aşırı sonuçlara yol açabilecek ardışık başarısızlıkların birleşiminden kaynaklanan olumsuz etkilerin niceliğini nadiren içermektedir. Önerilen yaklaşım, ETA yöntemini kullanarak bu boşluğu gidermeyi amaçlamaktadır. Enerji santrallerinin mali performansının ayrıntılı bir değerlendirmesini sağlayan ve çeşitli hassasiyet ve optimizasyon analizlerinin geliştirilmesine temel oluşturabilen ETA tabanlı bir yöntemin tanıtılmasıdır.

Yöntem, özellikle enerji santrallerine ilişkin işletme ve bakım maliyetlerinin değerlendirilmesini hedefleyerek finansal performans tahminlerinin doğruluğunu artırmaktadır. Çalışmanın sonucu olarak, gelirin yaklaşık üçte birini oluşturan ve 1 MW kurulu kapasiteye sahip bir fotovoltaik tesisin ömrü boyunca yaklaşık 380.000 Euro'ya tekabül eden ekipman arızalarıyla ilgili giderlerin daha iyi değerlendirilmesinin önemini göstermiştir (Veljanovski & Čepin, 2024).

1.10.4. Kanıta Dayalı Akıl Yürütme Literatürü

Uflaz vd., (2023), yapmış oldukları çalışmada, riski tahmin etmek için hata ağacı analizini (FTA) kullanırken, insan hatalarını ölçmek için ER ve standartlaştırılmış tesis analizi risk-insan güvenilirliği analizi (SPAR-H) yöntemini birleştiren kavramsal bir çerçeve önermektedir. Bu çalışmanın özel odak noktası, önerilen yöntemi sergilemek ve çarpışma riskinin ayrıntılı bir analizini göstermek için bir örnek olay olarak hizmet veren, sıkışık sularda gemi çarpışma riskidir. Bulgular, "tek gözcülük nedeniyle yetersiz nöbet tutma", "uygunsuz RADAR izleme" ve "COLREG ile ilgili eylemlerin etkisiz yürütülmesi"nin, sıkışık sularda çarpışma riskine katkıda bulunan en önemli insan hataları olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın sonuçları denizcilik endüstrisindeki gemi sahipleri, güvenlik uzmanları, gemi kaptanları, müfettişler ve araştırmacılar için değerli bilgiler sağlamasının yanı sıra çarpışma riskinin en aza indirilmesine ve sıkışık sularda seyir güvenliğinin artırılmasına yardımcı olabilmektedir (Uflaz vd., 2023).

Sezer vd., (2023), yapmış oldukları çalışmada, Başarı Olasılığı Endeksi Yöntemi (SLIM), İnsan Hatası Olasılığı (HEP) tahmini için yaygın olarak uygulanan etkili bir araçtır ve insan hatasını etkileyen performans şekillendiren faktörleri (PSF) dikkate almaktadır. Ancak geleneksel SLIM'de derecelendirme ve ağırlıklandırma sırasında değerlendiricilerin subjektif ve çelişkili görüşlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorunu çözmek için bu çalışmada SLIM'i ER yaklaşımıyla genişletmişler. ER-SLIM modelinde uzmanların inanç dereceleri toplanarak karmaşık bir belirsizlik ortamında HEP tahmin edilebilmektedir. Bu makale, insan hatalarının denizcilik alanına olası katkılarını ortaya koyan benzersiz bir insan hatası tahmin modeli önermektedir. Geliştirilen modelin fizibilitesini ve uygulanabilirliğini göstermek için, kimyasal tanker gemisindeki tank temizleme operasyonu bir vaka çalışması olarak incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, denizcilik paydaşlarına, tank temizleme

operasyonlarında insan hatası olasılığının en aza indirilmesi ve kimyasal tanker gemilerinin güvenliğinin artırılması konusunda yol göstermektedir (Sezer vd., 2023).

Elidolu vd., (2023), yapmış oldukları çalışmada, tanker gemilerinde gerçekleştirilen balast alma ve balast boşaltma işlemlerinin operasyonel risklerini analiz ederek gemilerin stabilite ve emniyetinin korunması sorunları ile ilgili boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Operasyonel tehlikelere ilişkin ayrıntılı bir bakış sağlamak için sağlam bir metodolojik yaklaşım, Arıza Modu Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMECA) ve FMECA'nın sınırlamalarıyla başa çıkmak için ER ve Kural Tabanlı Bayes Ağı (RBN) kullanılmıştır. En yüksek risk değeri 50,59 net risk değeri ile “senkron olmayan kargo ve balast operasyonu” ve 47,08 net risk değeri ile “kargo operasyonu sırasında aşırı liste” olarak bulunurken, en düşük risk değeri (21,94) ise “tespit edilemeyen blokaj” olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, sağlam teorik altyapısının yanı sıra, tanker gemilerinde operasyonel düzeyde riskleri en aza indirmek ve güvenliği artırmak için tanker zabıtlarına, gemi sahiplerine, güvenlik ve teknik müfettişlere değerli bilgiler sunmaktadır (Elidolu vd., 2023b).

Xiaowei vd.,(2024), yapmış oldukları çalışmalarında, bir askeri geminin denizdeki onarım ve bakım sisteminin yeteneklerini doğru bir şekilde değerlendirmek için ikili anlamsal bilgiye ve ER yaklaşımına dayanan hibrit bir değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Öncelikle askeri gemi tamir ve bakım sistemlerinin kapasitesini değerlendirmek için bir değerlendirme gösterge sistemi oluşturmuşlar. İkinci olarak, ikili anlamsal bilgiye ve analitik hiyerarşi sürecine dayalı olarak göstergelerin ağırlık dağılımını belirlemek için bir grup uzman ağırlıklandırma yöntemi önerilmiştir. Son olarak gösterge sisteminin çok özellikli sorununu çözmek için ER yaklaşımına dayanan kapsamlı bir değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Hesaplamaların sonucu örneklerin, önerilen grup uzman ağırlıklandırma yönteminin ve hibrit değerlendirme yönteminin, denizde bir askeri geminin tamir ve bakım sisteminin yetenek değerlendirmesi için uygun olduğunu göstermiştir. Hesaplama sonuçlarını değerlendirerek uzak deniz gemi tamir ve bakımında avantaj ve dezavantajları belirlenebilir, değerlendirme indekslerinin duyarlılık analizi yoluyla farklı indekslerin uzak deniz gemi tamir ve bakım kabiliyetine katkıları araştırabilir, uzak deniz gemi onarım ve bakımının değerlendirilmesi için teorik bir referans sağlayabilir (Xiaowei vd., 2024).

Tunçel vd., (2024), yapmış oldukları çalışmalarında, ER modellemesi altında kural tabanlı bir Bayes Ağı (BN) benimseyerek demirleme operasyonlarının riskini analiz etmek için kavramsal bir çerçeve sunmaktadır. Hata Modu Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMECA), demirlemenin operasyonel tehlikeleri hakkında ayrıntılı bilgi edinmek için kullanılırken,

kural tabanlı BN genişletilmiş ER, risklerin önemini değerlendirerek FMECA'nın zayıf yönleriyle başa çıkma yeteneğine sahiptir. çalışmanın sonuçları, operasyonel seviyede güvenliği yüksek düzeyde tutmak ve gemilerde demirlemeyle ilgili kazaları en aza indirmek için başta gemi sahipleri, gemi mürettebatı, güvenlik yöneticileri ve denetçiler olmak üzere denizcilik endüstrisine değerli bilgiler sağlayacaktır (Tunçel vd., 2024).



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmanın Kapsamı

İstatistiki veriler (EMSA, 2022) ve literatürdeki çalışmalar (Al-Shammari & Oh, 2018; Çelik vd., 2009b; Harren, 2010; Heger, 2003; Hollnagel & Goteman, 2004; Liu vd., 2022; Morra, 2011) deniz taşımacılığının en temel ögesi olan gemilerin havuzlanma operasyonlarında emniyetin önemine vurgu yapmaktadır. Bu çalışmada ülkemiz için önemli havuzlanma operasyonlarının yapıldığı yüzer havuzlarda meydana gelmiş havuz kazaları analiz edilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak kazaların analizinde birbirini tamamlayan üç yöntem tercih edilmiştir. İncelenen kazalardan hareketle gemilerin havuzlanma operasyonunda karşı karşıya kalabilecekleri tehlikelerin daha doğru ve eksiksiz olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Sadece teorik uygulamalar ve analitik değerlendirmelerle yapılan kaza çalışmalarından farklı olarak bu çalışmada havuzlanma operasyonlarında deneyimli havuz kaptanlarından oluşan uzman grup ile çalışmanın her aşamasından elde edilen sonuçların değerlendirilerek teorik-pratik karşılaştırmaları yapılmıştır. Yüzer havuzlar için nihai riskler bu şekilde ortaya konmuştur. Bu sayede havuz kazalarının kalitatif analizinde ve analitik değerlendirmelerde gözden kaçabilen ancak pratikte var olan risklerin de çalışmaya dahil edilebilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle, literatürde emniyet değerlendirmesi ve risk analizi çalışmalarında “belirsizlikler” diye tanımlanan veri noksanlığı asgari düzeyde tutulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda havuzlanan bir geminin yüzer havuzda olasılığı (aşırı akım çekilmesi, anormal haggingsagging, gemi ırgat arızası, havuz ırgatı devre kaçağı vb.) bağlı olarak ortaya koyabilen bir ağaç inşa edilmiştir. Geliştirilen bu ağaç ile gemi havuzlanma operasyonu sırasında meydana gelen kazalar ile test edilmiştir. Bunun yanı sıra çalışma sonucunda gemi havuzlanma operasyonlarında deniz emniyetini arttırmaya yönelik sunulan önlemlerin etkinliği ER metodu ile değerlendirilmiştir. Bu bir tür teorik fizibilite olarak düşünülebilir. ER metodu ile benzer bir fizibilite çalışması yapıldığında çalışmadan çıkan önerilerin etkinliği gemi havuzlanma operasyonlarında etkin rol alan yetkili kişiler tarafından kolaylıkla anlayabileceği sayısal sonuçlarla desteklenmektedir. ER uygulaması ile oluşturulan MCDA metodu ile herhangi bir yüzer havuzdaki risk analizi ve emniyet değerlendirmesi çalışmasından çıkan önerilerin etkisi nicel olarak analiz edilebilir.

Çalışmanın özgün değerini olası çıktıların kısa, orta ve uzun vadeli etkilerine bakarak anlamak mümkündür. Çalışmada sunulan modelin kısa dönemli etkisi, ilk defa gemi havuzlanma operasyonuna katılacak deniz insanlarının mevcut tehlikelerden haberdar olmasının sağlanmasıdır. Bunun yanı sıra yüzer havuzların konumlanmış olduğu ülkelerin denizcilik otoriteleri ve denizciliğin tüm tarafları gemi havuzlanma operasyonu için ayrı eğitim verirken bu modelin sonuçlarından faydalanabileceklerdir. Ayrıca, çalışmanın yürütülmesi sürecinde yaşanan birçok problemin analiziyle ve havuz kaptanlarının görüşleriyle oluşturulan model ve ER modeli gelecekte gemi havuzlanma kaza analizi ve emniyet değerlendirmesi üzerine yapılacak teorik çalışmalarda da kullanılabilecektir. Bu bağlamda mevcut literatüre katkı sağlanacaktır.

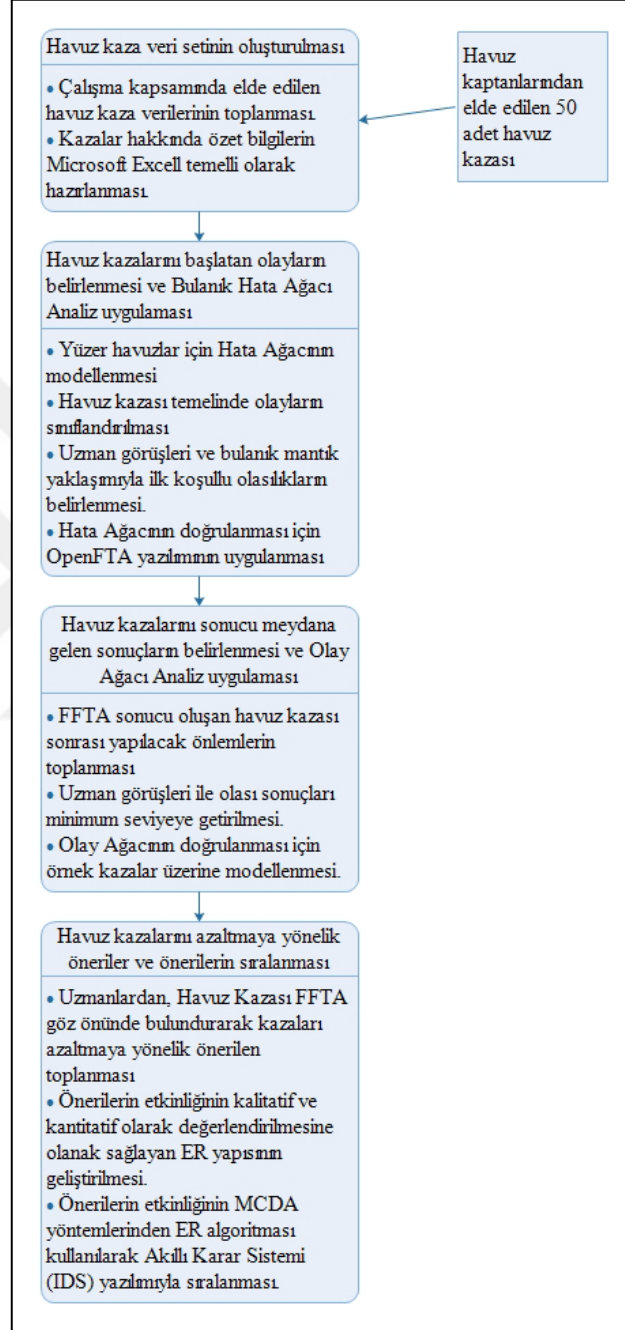
Çalışmanın orta dönemli etkisi gemi havuzlanma operasyonlarına dahil olan deniz insanlarının (havuz kaptanları, gemi kaptanları vb.) sunulan modeli gelecekte risklerin tespit edilmesi ve risk kontrol seçeneklerinin belirlenmesinde karar destek aracı olarak kullanabilmesi olacaktır.

Çıktıların uzun dönem etkisi ise gemi havuzlanma operasyonları sırasında meydana gelen deniz kazalarının azalması ile deniz emniyetinin sürdürülebilirliğini sağlayarak deniz ticaretinde aksamaları azaltmaktır. Bunlara ek olarak havuz kazalarının önlenmesi ülkemiz ekonomisi olmak üzere uygulama alanının genişletilmesiyle dünya deniz ticaretine, dolaylı olarak küresel ekonomiye olumlu katkı sağlayabilecektir.

2.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Metotlar

Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren toplamda 648.387 ton kaldırma kapasitesine sahip 35 tane yüzer havuzlardan, 629.687 ton kaldırma kapasitesine sahip 31 tanesinin (sayısal olarak %88,6, kaldırma kapasitesi olarak %97) havuz kaptanlarından başlarından geçen havuz kaza verileri toplanmıştır. Bu verilerin toplama süreci yaklaşık altı ay sürmüştür. Elde edilen bu veriler toplanarak çalışmaya ait havuz kaza veri tabanı oluşturulmuştur. Havuz kaptanlarının başlarından geçen havuz kazalardan elde edilen veriler kaza analizinde sıklıkla kullanılmış (uygulanabilirliği kanıtlanmış) metotlar (FFTA, ETA ve ER) kullanılarak kalitatif ve kantitatif olarak analiz edilmiştir. Devamında deniz kazaları alanında tecrübeli akademisyenlerinin de katılımıyla gemi havuzlanma operasyon mevcut riskler, günümüzde uygulanan tedbirler ve çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak gemi havuzlanma operasyonlarında deniz kazalarını önlemeye yönelik tavsiyeler

sunulmuştur. Emniyetli gemi havuzlanma operasyonu için önerilen model üzerindeki önleyici etkisi ER metoduyla kantitatif olarak analiz edilmiştir. Çalışmada izlenen metodolojinin akış şeması ve ger basamağın anlatımı aşağıda verilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Çalışma aşamalarının sistematik şeması

2.1.1. Hata Ağacı ve Kök Olayları Tanımlanması

Bu çalışmada modellenen hata ağacının amacı gemi havuzlanma operasyonları sırasında meydana gelen havuz kazalarının oluşumunu özetlemek ve kaza oluşumundaki rol oynayan aktörlerin önem derecelerini belirlemektir. Bu çalışmada TE'nin meydana gelmesinde rol oynayan 29 adet BE tanımlanmıştır. Tablo 5'da görüleceği üzere bu BE'ler, onlara ait tanımlamalar ve FTA'da bunların arasındaki ilişkiler uzman görüşlerinden faydalanılarak oluşturulmuştur (Peeters vd., 2018; Schroder-Hinrichs vd., 2011). Aşağıda kök olaylara ilişkin tanımlamalar yer almaktadır.

Tablo 5. Havuz kazalarında etken olan kök sebepler

Havuz kazalarında etken olan kök sebepler	Kısaltma
Aşırı Akım Çekilmesi	BE1
Anormal Haggıng/Sagging	BE2
Balast Tank İskandillerinin Yanlış Alınması	BE3
Elektrik Hattı Bakım/Tutum	BE4
Gemi Balast Sistemi Devre Kaçağı	BE5
Gemi Balast Sistemi Hidrolik Kaçağı	BE6
Gemi Halatının Yüzer Özelliğini Kaybetmesi	BE7
Gemi Irgatı Arızası	BE8
Geminin Pozisyona Yanlış Oturması	BE9
Gemide Yapılan Gayri Resmi Tadilat	BE10
Halatın Aşırı Yüke Binmesi	BE11
Havuz Irgatı Devre Kaçağı	BE12
Havuzun Konumundan Dolayı Kısıtlı Römorkör Kullanımı	BE13
Havuzun Yapısından Dolayı Kısıtlı Römorkör Kullanımı	BE14
Halatın Yanlış Pozisyondan Verilmesi	BE15
İletişimin Kopması	BE16
Irgat Sigorta Atması	BE17
Irgat Yetersiz Havalandırma	BE18
Kullanım Ömrü Dolmuş Valf	BE19
Kana Rakamlarının Yanlış Markalanması	BE20
Pompa Düzensiz Elektrik Akımı	BE21
Pompa Emiş Suyu Eksikliği	BE22
Pompa Sigorta Atması	BE23
Tel Halatın Aşırı Yüke Binmesi	BE24

Tablo 5'in devamı

Tel Halatın Tambura Düzensiz/Gevşek Sarılması	BE25
Valf Hidrolik Devre Kaçağı	BE26
Valfe Yabancı Madde Girmesi	BE27
Yenilenen Jeneratör Değerinin Aynı Olmaması	BE28
Yenilenen Pompa ve Valflerin Daha Fazla Güce İhtiyaç Duyması	BE29

Aşırı Akım Çekilmesi (BE1): Havuz balast pompalarının çalışır durumdayken olması gerekenden fazla akım tüketmesi durumunda meydana gelir.

Anormal Haggıng/Sagging (BE2): Gemilerin yükleme operasyonları sırasında stres değerlerinin üzerine çıkması sonucu omurgasındaki aşağıyı veya yukarıya doğru bükülmeler neticesinde meydana gelir.

Balast Tank İskandillerinin Yanlış Alınması (BE3): Gemilerde havuzlanma öncesi ilgili gemi personeli tarafından iskandil değerinin yanlış alınması sonucu meydana gelir.

Elektrik Hattı Bakım/Tutum (BE4): Tersaneye elektrik hattı taşıyan şebekenin düzenli bakım/tutum faaliyeti esnasında elektrik gücünün kesilmesinde meydana gelir.

Gemi Balast Sistemi Devre Kaçağı (BE5): Havuzlanacak geminin balast sistemi devre hattında kaçak olması sebebiyle istenilen miktarda balast suyu bulunduramama durumunda meydana gelir.

Gemi Balast Sistemi Hidrolik Kaçağı (BE6): Havuzlanacak geminin balast sistemi valflere kumanda eden hidrolik devrede sızıntı olması durumunda meydana gelir.

Gemi Halatının Yüzer Özelliğini Kaybetmesi (BE7): Geminin manevralarda kullanmış olduğu halatın artık deniz suyu üzerinde yüzememesi durumunda meydana gelir.

Gemi İrgatı Arızası (BE8): Gemi ırgatının, devre kaçağı, zamanında bakım/tutum yapılamaması, mekanik hatalar neticesinde kumanda edilmemesi durumunda meydana gelir.

Geminin Pozisyona Yanlış Oturması (BE9): Geminin havuzlanma planına uygun hazırlanmış olan takaryalara istenilen konumda olmaması durumunda meydana gelir.

Gemide Yapılan Gayri Resmi Tadilat (BE10): Gemide öncesinde yapılmış olan tadilatın ilgili klas kuruluşuna bildirilmemiş olması neticesinde evraklarında bulunmayan karinasında yapılmış değişiklik olması durumunda meydana gelir.

Halatın Aşırı Yüke Binmesi (BE11): Havuzlanma manevrası esnasında kullanılan halata emniyetli çalışma yüklerinin üzerinde kuvvet bindirilmesi durumunda meydana gelir.

Havuz Irgatı Devre Kaçağı (BE12): Havuzlanma manevrası esnasında kullanılan havuz ırgatının devresinde darbeden veya aşırı yüke bindirilmesinden kaynaklı sızıntı olma durumunda meydana gelir.

Havuzun Konumundan Dolayı Kısıtlı Römorkör Kullanımı (BE13): Havuzlar işletme izinleri alınırken konumlarının belirli olması gerekmektedir. Bu durumda ilerleyen yıllarda havuzun konumundan dolayı römorkör giriş ve çıkışının engellendiği durumları tanımlar.

Havuzun Yapısından Dolayı Kısıtlı Römorkör Kullanımı (BE14): Havuzların yapılarından ötürü çok küçük, aşırı dar vb. durumlar sebebiyle römorkörlerin havuzun içine giriş-çıkış yapamama durumunu tanımlar.

Halatın Yanlış Pozisyondan Verilmesi (BE15): Havuzlanma manevrası esnasında halatın en uygun pozisyon yerine daha zor pozisyonlarda kullanılmasından ötürü emniyetsiz kullanılması durumunu açıklamaktadır.

İletişimin Kopması (BE16): Havuzlanma manevrası esnasında, havuz kaptanı ile gemi kaptanı, gemi kaptanı ile zabıtları veya havuz kaptanı ile operatörü arasında iletişimi sağlayan cihazın atıl durumunu tanımlamaktadır.

Irgat Sigorta Atması (BE17): Havuz ırgatının aşırı yüke binmesi veya yeterli güç alamaması durumu tanımlamaktadır.

Irgat Yetersiz Havalandırma (BE18): Havuz ırgatının hava filtresinin zamanında bakım/tutum yapılmaması veya önünün kapanması gibi durumda ırgatın arıza durumuna geçmesi durumunu açıklamaktadır.

Kullanım Ömrü Dolmuş Valf (BE19): Havuzda kumanda edilen valflerin emniyetli çalışma saatinin aşıldığı, yeterince bakım/tutum faaliyetinin yapılmadığı durumda valf arızasına yol açtığı durumda meydana gelir.

Kana Rakamlarının Yanlış Markalanması (BE20): Geminin önceki havuzlanma sürecinde bordasının işlem gördüğü ve kana rakamlarının olması gerektiği yerden farklı olarak markalanması neticesinde gemi tarafından verilen drafların yanlış olmasına neden olduğu durumda meydana gelir.

Pompa Düzensiz Elektrik Akımı (BE21): Havuz balast pompasının değişken elektrik akımı neticesinde pompa arıza durumuna yol açtığı durumu tanımlamaktadır.

Pompa Emiş Suyu Eksikliği (BE22): Havuz balast pompa suyu alıcısının kısmen tıkalı veya deniz suyu alamadığı durumda pompa arızasına sebep olan durumu tanımlamaktadır.

Pompa Sigorta Atması (BE23): Havuz pompasının anlık elektrik yükünde olan değişimler neticesinde sigortasının atarak pompaya elektrik beslemesini kesmesi durumunu tanımlamaktadır.

Tel Halatın Aşırı Yüke Binmesi (BE24): Havuzlanma sırasında havuz tarafından verilen tel halatların emniyetli çekme kuvvetlerinden daha yüksek kuvvete maruz kalması durumunu tanımlamaktadır.

Tel Halatın Tambura Düzensiz/Gevşek Sarılması (BE25): Havuzlanma sırasında havuz tarafından verilen tel halatların tambura düzgün bir şekilde sarılmadığı durumu tanımlamaktadır.

Valf Hidrolik Devre Kaçağı (BE26): Havuz valflerin hidrolik devrelerinin aşırı ısınması, yıpranması vb. sebeplerle hidrolik sızıntı yaparak valfin çalışmaması durumunu tanımlamaktadır.

Valfe Yabancı Madde Girmesi (BE27): Havuz valflere midye, deniz canlısı vb. maddeler nedeniyle tam açılıp-kapanmaması durumunu tanımlamaktadır.

Yenilenen Jeneratör Değerinin Aynı Olmaması (BE28): Havuzlarda kullanılan jeneratörlerin bakım-tutum sonrası artık yenisiyle değiştirilmesi ihtiyacı olduğunda durumda aynı özelliklere sahip jeneratör yerine farklı özelliklerde jeneratör kullanılması sonucu jeneratör gücünün yetersiz kaldığı durumunu tanımlamaktadır.

Yenilenen Pompa ve Valflerin Daha Fazla Güce İhtiyaç Duyması (BE29): Havuzlarda kullanım süreleri dolmuş pompa ve valflerin değiştirildiklerinde daha fazla güce ihtiyaç duymalarında dolayı jeneratör tarafından yeterli beslenememesi durumu tanımlamaktadır.

2.1.2. Bulanık Hata Ağaç Nitel ve Nicel Analizi

Bu çalışmada tercih edilen FFTA yöntemi için tanımlanan TE, havuz kazasıdır. Temel olaylar ise yukarıda bahsedildiği gibi havuz kazasını oluşturan 29 adet kök nedendir. Çalışmanın bu safhasında öncelikli olarak havuz kazalarının oluşumunda kök sebeplerin etkinliği hakkında uzman kişilerin görüşlerine başvurulmuştur. Bu çalışmada havuz kazalarına bulanık mantık metodu ile hata ağacı analizi uygulanması, havuz kaptanlarından oluşan 28 kişilik heterojen bir uzman grup görüşlerine başvurularak oluşturulmuştur. Uzmanların, gemi havuzlanma operasyonlarında uzun yıllar aktif olarak çalışmış ve hala çalışmakta olan kişilerden oluşmuştur. Bulanık mantık yönteminin uygulanması, değerlendirmeler yapan uzmanların mesleki tecrübelerine, yeterliliklerine ve

yeterliliklerindeki tecrübeleri göz önünde bulundurarak ağırlıklandırma işlemi uygulanmıştır.

Uzun yıllar mesleki tecrübeye sahip olan bir havuz kaptanının yapacağı değerlendirmelerin puanı daha yüksek olmakla birlikte bunun yanı sıra yeterlilikleri ve yeterliliklerindeki tecrübeleri verecekleri görüşlerin ağırlıklarında etkili olmaktadır. Değerlendirme farklılıklarının yansıtılması amacıyla her uzman için 0'dan 5'e kadar farklı skorlar belirlenmiştir. Uzman grubun ağırlık skorları Tablo 6 'ya göre belirlenmiştir.

Tablo 6. Uzmanların ağırlık skor hesaplama yöntemi

Değişkenler	Sınıflandırma	Puanlama
Yeterlilik	Uzakyol Kaptan	5
	Vardiya Zabiti	4
	Sınırlı Kaptan	3
	Gemi İnşaatı Mühendisi	2
	Gemici	1
Yeterlilik Tecrübesi (yıl)	$28 < x \leq 35$	5
	$21 < x \leq 28$	4
	$14 < x \leq 21$	3
	$7 < x \leq 14$	2
	$x \leq 7$	1
Mesleki Tecrübe (yıl)	$24 < x \leq 30$	5
	$18 < x \leq 24$	4
	$12 < x \leq 18$	3
	$6 < x \leq 12$	2
	$x \leq 6$	1

Uzman grup hata oranı bilinmeyen risklerle ilgili nitel değerlendirmeleri tanımlamak amacıyla dilsel ölçekler kullanılmıştır. Dilsel ölçekler, dilsel ifadelerinin kullanılabilmesinin uygun sayısal dönüşüm yöntemlerinden faydalanılarak bulanık sayılara çevrilmesi için geliştirilmektedir (Cheng vd., 1999). Bu işlem için standartlaştırılmış yedi seviyeden oluşan dilsel ölçek olarak; Çok Düşük (VL), Düşük (L), Hafif Düşük (ML), Orta (M), Hafif Yüksek (MH), Yüksek (H), Çok Yüksek (HV) tercih edilmiştir. Bu ölçeklendirme sayesinde temel olay hata olasılıkları en düşük oranlardan en yüksek oranlara kadar

ölçeklendirilebilmektedir. Tablo 7’da görüleceği üzere bu çalışmada kök olayların olasılık değerlerinin hesaplaması maksadıyla üçgen bulanık sayı kümeleri tercih edilmiştir (Rajakarunakaran vd., 2015).

Tablo 7. Dilsel ölçüm skalası ve üçgen bulanık sayı değerleri

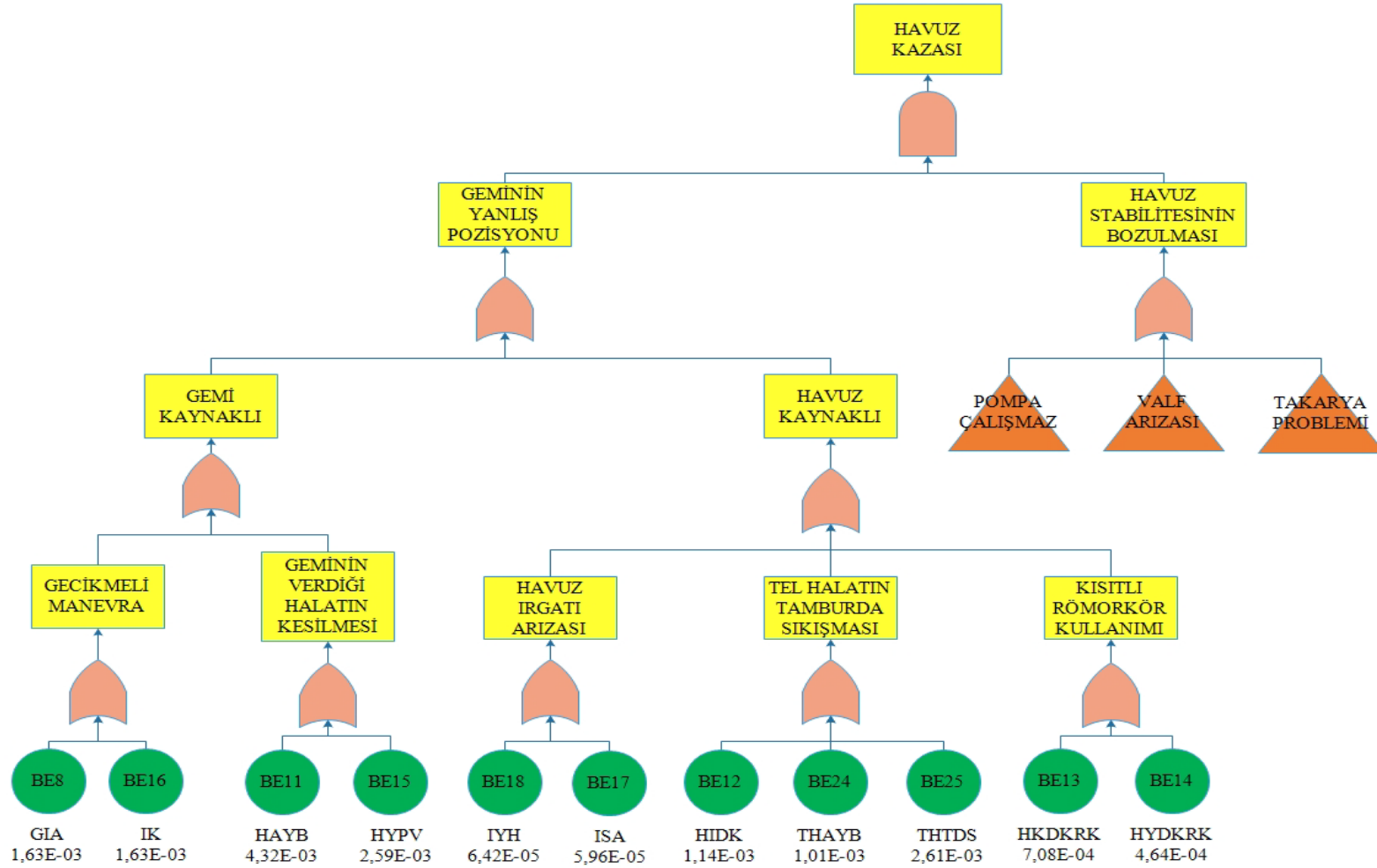
Ölçüm Değeri	Ölçüm Değeri Kısaltması	Üçgen Bulanık Sayılar		
		a_1	a_2	a_3
Çok Düşük	ÇD	0,00	0,04	0,08
Düşük	D	0,07	0,13	0,19
Az Düşük	AD	0,17	0,27	0,37
Orta	O	0,35	0,50	0,65
Az Yüksek	AY	0,63	0,73	0,83
Yüksek	Y	0,81	0,87	0,93
Çok Yüksek	ÇY	0,92	0,96	1,00

Bu çalışmada 29 tane kök olay için 28 kişiden oluşturulmuş heterojen bir uzman gruptan elde edilen nitel veriler toplanarak nicel veriler türetilmiştir. FFTA’da kök olaylar aralarındaki ilişkiyi irdelemek için toplama aşaması neticesinde elde edilen bulanık sayı alan belirsizlik merkezi yöntemi kullanılarak net puan diğer bir ifadeyle “Bulanık Olasılık Skoru” değerine dönüştürülür (Sugeno, 1999). Elde edilen bulanık sonuçlar hata oranı nedeniyle doğrudan kullanılamayacağı için gerçeğe daha yakın hata olasılıklar hesaplanır (Tanaka vd., 1983; Yuhua & Datao, 2005). Devamında uzman değerlendirmesi neticesinde elde edilen bulanık başarısızlık olasılık değeri, FTA metodunda Monte Carlo simülasyonu vasıtasıyla MCs’ler ve TE olasılık değerleri hesaplanılır. Uzman gurubun ortalama benzerlik derecesi, bağıl ortalama benzerlik derecesi ve konsensüs katsayıları (CC) hesaplanır. Bu şekilde uzman görüşleri arasındaki benzerlik dereceleri tanımlanarak, uzman değerlendirme etkilerinin belirlenmesi sağlanır.

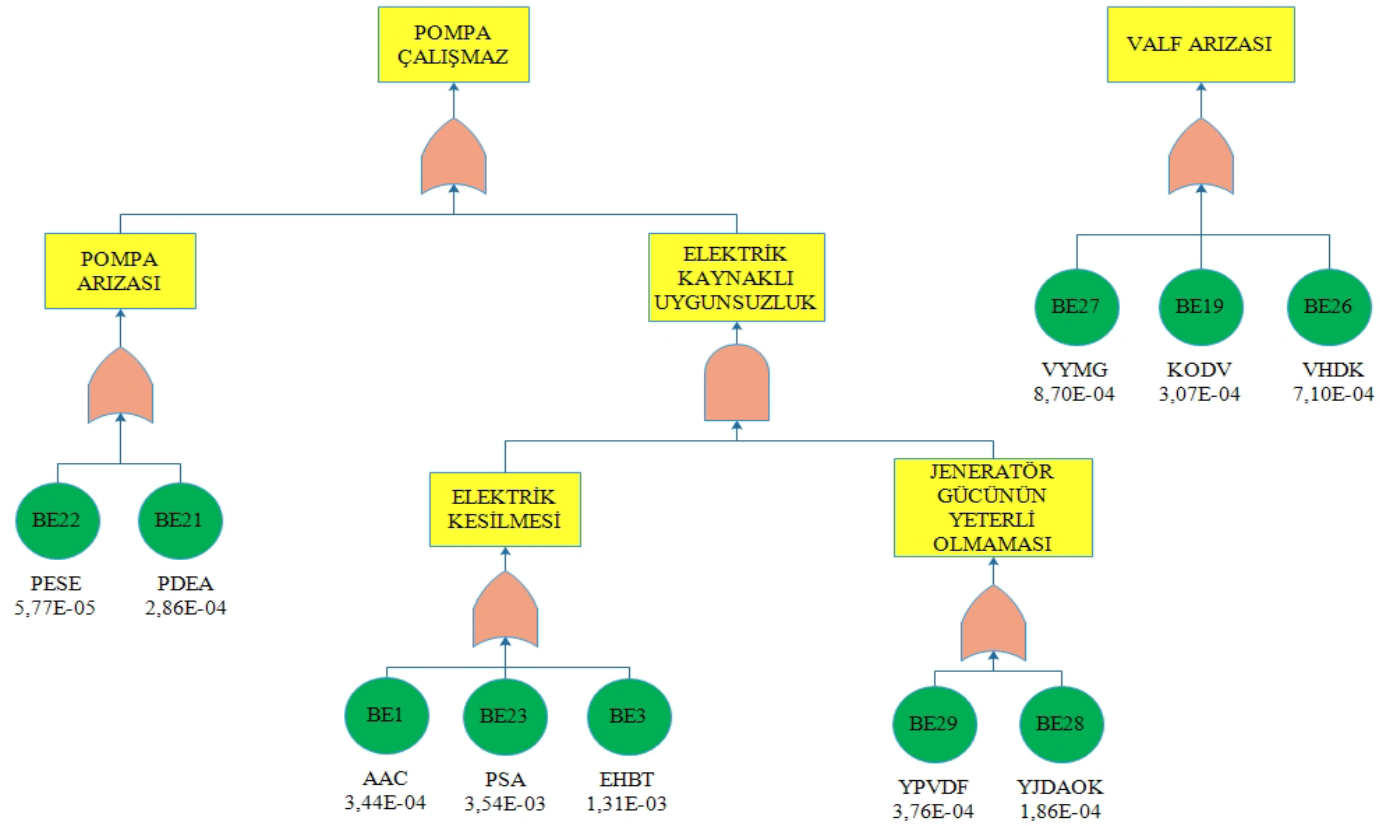
Tepe olayı havuz kazası olan hata ağacında kaza olayını meydana getiren 2 ana olay kümesi vardır bunlar: Geminin yanlış pozisyonu ve havuz stabilitesinin bozulmasıdır. Bu iki ana faktör altında (orta olay) daha önce tanımlaması yapılan 29 adet BE ise kendi aralarında sınıflandırılmış ve aralarındaki ilişki “VE” “VEYA” kapıları ile kurulmuştur (Şekil 19,20

ve 21). Geminin yanlış pozisyonu ve havuz stabilitesinin bozulması hata ağacında “VE” kapısı ile birbirlerine bağlanmıştır. Bunun anlamı iki olay kümesi altında yer alan BE’ler eş zamanlı bir araya geldikleri zaman TE’yi tetikler ve havuz kaza olayı meydana gelir. Havuz kazaları için hata ağacı oluşumu şekil 19, 20 ve 21 de sunulmuştur.

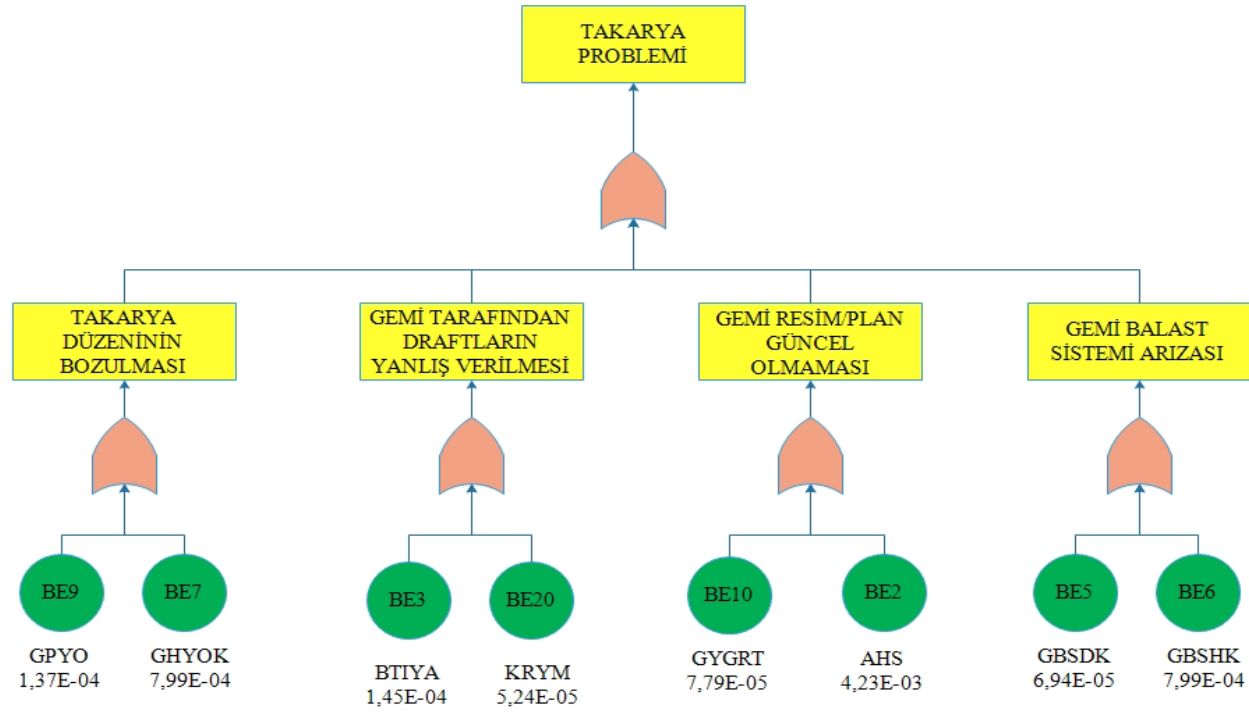




Şekil 19. Havuz kazalarının Hata Ağacı Analizi Yapısı



Şekil 20. Pompa çalışmaz ve valf arızası Hata Ağacı Analizi

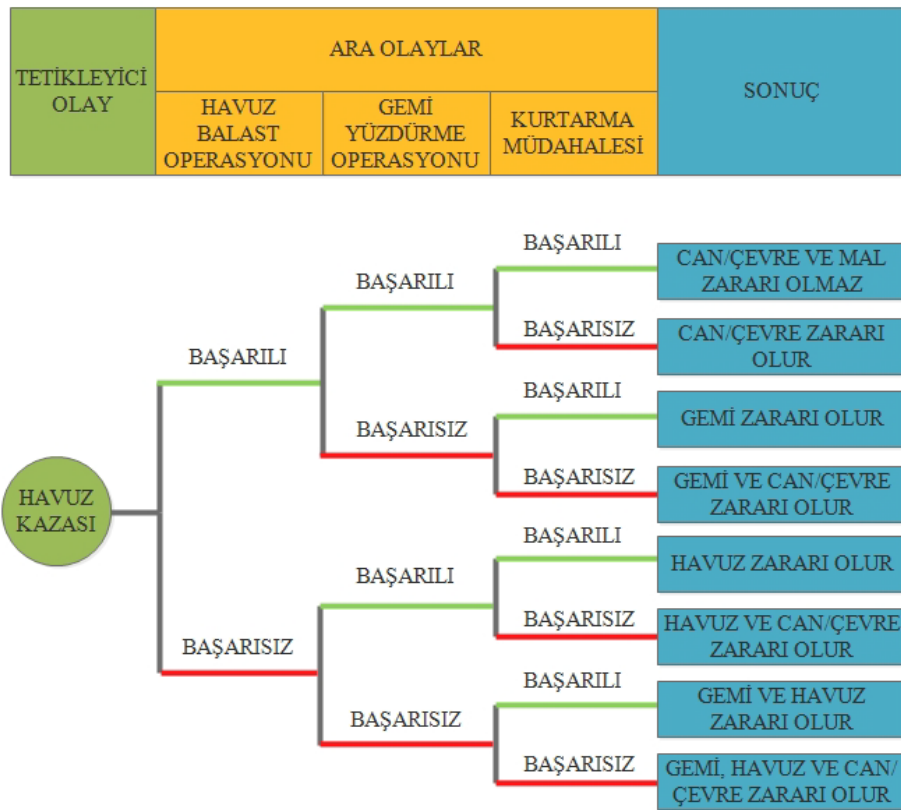


Şekil 21. Takarya problemi Hata Ağacı Analizi

2.1.3. Olay Ağacı Analiz Yöntemi Uygulaması

Çalışmanın bu aşamasında, havuz kazası sonrası meydana çıkacak sonuçların değerlendirmesi için ETA kullanılmıştır. Olay ağacındaki her yol için ara olaylara dayalı olarak bir kazanın önlenmesi vurgulanır. Olay ağacı analiz yöntemi kaza öncesi ve kazayı takip eden durumları şematik bir şekilde göz önüne serdiğinden sonuç analizi olarak tercih edilmiştir. Kazaya karşılık gelen bir yol ve her bir kaza yolu başına sonuçların ölçülmesi, üç uzman tarafından tahmin edilen ortalama değerlendirme sonuçlarından elde edilmiştir.

Uzman grup deniz kazaları incelenmesi konusunda uzman üç akademisyenden oluşturulmuştur. Uzmanlara havuz kazası sonrası hangi ara olayın sonrası nasıl sonuçlanacağı üzerine değerlendirmeleri istenmiştir. Uzman grup tarafından havuz kazası sonrası meydana gelen ara olaylar uygulanması neticesinde sonuçlar tanımlanmıştır. Uzman grup tarafından, kaza senaryosu üzerinden tetikleyici olayı takiben ara olayların sonucunu tanımlanması ile bu çalışmanın ETA yapısı Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 22. Çalışmada kullanılan olay ağacı yapısı

2.1.4. Havuz Kazaları Azaltmaya Yönelik Öneriler ve Sıralanması

Hata ağacının çalıştırılması sonucunda havuz kazası oluşumuna etkin kök nedenlerin değerleri tespit edilmiştir. Uzmanlar, havuz kaza hata ağacındaki her bir kök nedenleri kontrol etmek amacıyla veya havuz kazasına etkisinin azaltılarak kaza oluşumunun azaltılması maksadıyla tedbirler veya düzenlemeler önermişlerdir. Bu öneriler sözel olarak sunulmalarından önce, havuz kazalarını önlemeye ve gemi havuzlanma operasyon emniyetinin artırılmasına yönelik olarak hata ağacındaki kök nedenler üzerine etkinliğin analiz edilerek karar vericilere daha geniş bir bakış sağlayabilecektir. Bu maksatla, çalışmanın son adımında, gemi havuzlanma operasyonlarında yaşanan sorunlar için belirlenmiş önerilerin etkinliği MCDA metodlarından ER yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada ER algoritması rahat uygulanabilmesi maksadıyla Akıllı Karar Sistemi (IDS) yazılımı tercih edilmiştir (Xu & Yang, 2003). Hata ağacı kök nedenleri temel alınarak çok kriterli değerlendirme hiyerarşisi meydana getirilmiştir. devamında gemi havuzlanma operasyonlarında yaşanan sorunlar için belirlenmiş öneriler alternatifler olarak bu hiyerarşik yapı üzerine uzman görüşlerinden faydalanarak değerlendirilmiştir. Bu basamağın amacı gemi havuzlanma operasyonlarında yaşanan sorunlar için belirlenmiş önerilerin etkinliği kalitatif ve kantitatif olarakta değerlendirilmesinin mümkün olduğu bir ER modelinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu modelleme sayısal bir fizibilite çalışması niteliği taşımaktadır. Bu şekilde karar vericiler (kıyı emniyeti, denizcilik otoriteleri, liman operatörleri vb.) çalışma neticesinde sunulan önerilerden hangilerinin, havuz kazalarının kök nedenleri üzerinde daha çok etkili olduğunun gözlemlenmesi sonucu daha net, doğru karar alabilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. FFTA Yönteminin Nicel ve Nitel Hesaplamalar ile İlişkili Bulguları

3.1.1. Uzman Değerlendirmeleri Neticesinde Elde Edilen Bulgular

FFTA yöntemi ile havuz kazalarının meydana gelmesinde etkili kök sebeplerin değerlendirilmesi sürecinde uzmanların görüşlerine yer verilmiştir. Tablo 8’de görüleceği üzere uzmanların ağırlık değerleri hesaplanmış ve 9, 13, 16 ve 17 numaralı uzmanların sırasıyla 0,0458; 0,0500; 0,0458 ve 0,0500 değerleri sahip en yüksek ağırlıklı uzmanlar oldukları bulunmuştur. Bu sebeple bulanık hata ağacı analizi hesaplamalarda bu dört uzmana ait değerlendirmelerin en fazla etkiye sahip olmuştur.

Tablo 8. Havuz kazaları değerlendiren uzmanların ağırlık değerleri

Uzman No	Mesleki Tecrübe (yıl)	Yeterlilik	Yeterlilikteki Tecrübe (yıl)	Ağırlık skoru			Toplam skor	Ağırlık Değeri
1	24	Gemi İnş. Müh.	25	4	2	4	10	0,0417
2	18	Gemi İnş. Müh.	20	3	2	3	8	0,0333
3	5	Vardiya Zbt.	12	1	3	2	6	0,0250
4	25	Uzakyol Kpt.	30	5	1	5	11	0,0458
5	8	Uzakyol Kpt.	10	2	5	2	9	0,0375
6	6	Uzakyol Kpt.	8	1	5	2	8	0,0333
7	10	Sınırlı Kpt.	15	2	5	3	10	0,0417
8	10	Uzakyol Kpt.	25	2	3	4	9	0,0375
9	12	Gemici	25	2	5	4	11	0,0458
10	20	Gemici	25	4	1	4	9	0,0375
11	19	Gemi İnş. Müh.	24	4	1	1	9	0,0375
12	4	Uzakyol Kpt.	6	1	2	4	4	0,0167
13	18	Uzakyol Kpt.	28	3	5	2	12	0,0500
14	7	Uzakyol Kpt.	10	2	5	3	9	0,0375
15	8	Gemici	18	2	5	5	10	0,0417

Tablo 8'in devamı

16	30	Uzakyol Kpt.	35	5	1	4	11	0,0458
17	15	Uzakyol Kpt.	24	3	5	3	12	0,0500
18	10	Uzakyol Kpt.	20	2	5	2	10	0,0417
19	6	Uzakyol 1.Zbt.	10	1	5	2	8	0,0333
20	3	Uzakyol 1.Zbt.	12	1	4	2	7	0,0292
21	2	Gemi İnş. Müh.	12	1	4	2	7	0,0292
22	8	Gemi İnş. Müh.	10	2	2	2	6	0,0250
23	10	Gemi İnş. Müh.	12	2	2	2	6	0,0250
24	19	Gemi İnş. Müh.	20	4	2	2	8	0,0333
25	16	Gemi İnş. Müh.	18	3	2	2	7	0,0292
26	15	Gemi İnş. Müh.	18	3	2	2	7	0,0292
27	3	Uzakyol Kpt.	16	1	5	2	8	0,0333
28	3	Uzakyol Kpt.	15	1	5	2	8	0,0333
							114	1,0000

3.1.2. Bulanıklaştırma Aşaması Bulguları

Çalışmada uygulanan metodda, bilinmeyen başarısızlık oranlarıyla tehlikelerin öznel değerlendirmesi amacıyla 7 sözel terim ölçeği tercih edilmiştir. Hata olasılığının dağılımında tercih edilen sözel değerler yedi adettir. Bunlar sırasıyla; çok düşük (ÇD), düşük (D), az düşük (AD), orta (O), az yüksek (AY), yüksek (Y) ve çok yüksek (ÇY)'dir. Temel olayın hata olasılığı en düşük orandan en yüksek oranlara doğru ölçülendirilmiştir. Yukarıda bahsedilen sözel değerler, hata oranları bilinmeyen risklere ilişkin uzmanlar niteliksel yargıları göstermek için tercih edilmektedir. BE'lerin TE (havuz kazası) meydana gelmesindeki etkileri uzman görüşüne sunularak değerlendirmeleri neticesinde BE4 ve BE11 temel olayları en yüksek etkiye haiz oldukları görülmüştür.

Tablo 9. Temel olayların uzman değerlendirme skalası

Temel Olaylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
BE1	O	D	D	D	O	AD	D	D	O	AD	D	D	O	D	D	D	AD	D	D	D	O	D	AD	D	O	D	D	D
BE2	Y	O	Y	Y	O	AD	O	AD	AD	AD	O	AD	Y	O	Y	AD	O	AD	AD	AD	O	AD	O	O	Y	O	Y	O
BE3	ÇD	AD	D	O	ÇD	AD	D	ÇD	O	D	D	ÇD	ÇD	D	D	D	ÇD	O	ÇD	D	D	ÇD	O	D	O	AD	D	D
BE4	Y	O	O	O	AD	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	D	D	Y	D	AD	O	AD	AD	AD	O	AD	Y	Y	AY	O	O	Y
BE5	AD	ÇD	D	D	D	D	ÇD	AD	ÇD	O	AD	O	D	AD	ÇD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	D	D	ÇD	AD	ÇD
BE6	AD	O	D	O	O	AD	O	AD	ÇD	AD	AD	D	ÇD	AD	AD	AD	O	AD	O	AD	O	D	ÇD	D	O	AD	AD	D
BE7	AD	O	D	AD	O	D	O	AD	O	D	AD	O	D	D	AD	AD	O	D	O	AD	O	D	O	D	O	D	ÇD	AD
BE8	D	O	O	Y	D	D	O	O	D	O	O	Y	D	O	Y	D	D	O	O	O	D	O	O	Y	D	D	ÇD	O
BE9	D	D	O	O	ÇD	D	ÇD	ÇD	O	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	O	ÇD	O	D	ÇD	O	O	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	ÇD
BE10	AD	ÇD	AD	AD	ÇD	ÇD	AD	AD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	ÇD	ÇD	AD	AD	ÇD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	ÇD	AD	AD	ÇD	ÇD	AD	AD
BE11	ÇY	Y	AD	O	AD	AD	AD	O	AD	Y	D	AD	O	AD	AD	AD	O	AD	Y	O	O	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BE12	D	O	O	O	D	D	O	O	D	O	O	O	D	O	O	D	D	O	O	O	D	O	O	ÇD	D	D	ÇD	O
BE13	AD	AD	D	D	AD	O	AD	AD	AD	O	D	AD	O	O	D	AD	AD	O	D	AD	AD	O	D	D	AD	O	D	D
BE14	AD	O	D	AD	O	D	ÇD	AD	O	D	AD	ÇD	D	D	AD	AD	O	D	D	AD	O	D	O	D	O	D	ÇD	AD
BE15	O	O	AD	AD	O	AD	AD	AD	O	AD	O	O	O	O	O	O	O	O	AD	O	AD	AD	O	AD	AD	AD	O	O
BE16	D	D	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	D	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	D	D	D	D	D	D	D	O	O	O
BE17	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	AD	AD	AD	ÇD	AD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	AD	AD	AD	O	AD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	ÇD	ÇD
BE18	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	ÇD	D	O	ÇD	ÇD	D	D	O	AD	O	O	ÇD	O
BE19	AD	D	AD	AD	AD	AD	D	AD	D	AD	D	AD	D	AD	D	AD	AD	D	O	AD	D	AD	AD	D	AD	D	ÇD	D
BE20	AD	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	D	ÇD	AD	AD	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	ÇD	D	D	O	O	D	AD
BE21	D	AD	D	D	D	AD	D	O	D	AD	D	D	O	AD	D	D	O	AD	D	D	O	AD	D	D	D	AD	ÇD	D
BE22	D	D	ÇD	ÇD	D	D	D	ÇD	D	D	D	ÇD	ÇD	ÇD	O	ÇD	O	D	ÇD	ÇD	D	D	O	ÇD	O	D	ÇD	ÇD
BE23	O	O	O	Y	O	Y	O	O	D	O	D	O	D	Y	O	O	Y	O	Y	D	D	O	O	Y	O	D	D	O

Tablo 9'un devamı

BE24	D	O	O	O	D	D	O	O	D	O	O	D	D	O	O	D	D	O	O	O	D	O	O	ÇD	D	D	ÇD	O
BE25	D	O	Y	O	D	D	O	O	Y	O	O	D	D	O	O	D	D	Y	O	O	Y	O	O	Y	D	D	Y	O
BE26	AD	O	AD	AD	ÇD	D	ÇD	AD	AD	AD	O	AD	ÇD	D	AD	AD	O	ÇD	O	AD	O	AY	O	O	O	D	D	AD
BE27	O	O	AD	AD	O	D	O	AD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	D	D	O	O	ÇD	D	O	AD	O	AY	O	D	O	D	ÇD	AD
BE28	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	D	ÇD	AD	O	O	O	AD	AD	AD	O	AD	O	ÇD	ÇD	AD	D	ÇD	ÇD	AD	ÇD	ÇD
BE29	ÇD	D	ÇD	D	ÇD	AD	ÇD	ÇD	ÇD	D	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	AD	ÇD	ÇD	ÇD	AD	ÇD	ÇD	ÇD	D	ÇD	ÇD

3.1.3. Toplama Aşaması Hesaplamaları Neticesinde Elde Edilen Bulgular

Ayrışık dağılımlı grup içindeki uzmanların kendilerinin ilgi alanları ve mesleki deneyimlerine uygun olarak değişik görüşleri bulunmaktadır. Bu sebeple uzmanların görüşleri değerlendirilmesinin ve fikir ayrılığının sona erdirmek maksadıyla uzman görüşlerini toplamak gerekmektedir. Bu çalışmada havuz kazalarında etkili 29 adet kök sebep değerlendirmesi maksadıyla 28 kişilik heterojen bir uzman grup meydana getirilmiştir. Bu aşamada, görüşleri talep edilen bütün uzmanlar değerlendirmelerini daha önce metodoloji bölümünde değinilen formüller ile birleştirilir. Bu işlemlere örnek olarak BE5 (gemi balast sistemi devre kaçağı) kök sebebine uygulanmış ve BE5 temel olayının bulanık olasılık değeri 0,14484 olarak hesaplanmıştır (Tablo 10). Aynı şekilde BE5 temel olayının uzmanların ortalama ve bağıl ortalama benzerlik değerleri (Tablo 11), CC değerleri (Tablo 12) ve benzerlik fonksiyonu değerleri (Tablo 13) hesaplanmıştır. Bu çalışmada CC hesaplamaları $\beta = 0,5$ değeri kullanılarak tablodaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 10. Temel olay BE5 uzman görüşü toplama aşaması hesap değerleri

Temel Olay (BE5) Toplanması			BE5'nin Bulanık Olasılığı	BE5'nin Başarısızlık Olasılığı Üretimi	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	BE5 FV-I İndeks Değeri	BE5 FV-I Sıralama Ölçeği
0,07895	0,14484	0,21073	0,14484	4,16	6,93774E-05	6,76427E-01	24

Tablo 11. Uzmanların ortalama ve göreceli anlaşma değerlerinin bulguları

Uzman No	Uzmanların Ortalama Benzerlik Değerleri (AA)	Uzman No	Uzmanların Bağıl Ortalama Benzerlik Değerleri (RA)
E1	0,84259	E1	0,03522
E2	0,88481	E2	0,03699
E3	0,90481	E3	0,03782
E4	0,90481	E4	0,03782
E5	0,90481	E5	0,03782
E6	0,90481	E6	0,03782
E7	0,88481	E7	0,03699
E8	0,84259	E8	0,03522

Tablo 11'in devamı

E9	0,88481	E9	0,03699
E10	0,63815	E10	0,02668
E11	0,84259	E11	0,03522
E12	0,63815	E12	0,02668
E13	0,90481	E13	0,03782
E14	0,84259	E14	0,03522
E15	0,88481	E15	0,03699
E16	0,88481	E16	0,03699
E17	0,88481	E17	0,03699
E18	0,84259	E18	0,03522
E19	0,88481	E19	0,03699
E20	0,88481	E20	0,03699
E21	0,88481	E21	0,03699
E22	0,90481	E22	0,03782
E23	0,90481	E23	0,03782
E24	0,90481	E24	0,03782
E25	0,90481	E25	0,03782
E26	0,88481	E26	0,03699
E27	0,87963	E27	0,03782
E28	0,88481	E28	0,03699

Tablo 12. Konsensüs katsayısı (CC) bulguları

Uzman No	CC	Uzman No	CC	Uzman No	CC	Uzman No	CC
E1	0,03844	E8	0,03636	E15	0,03933	E22	0,03141
E2	0,03516	E9	0,04141	E16	0,04141	E23	0,03141
E3	0,03141	E10	0,03209	E17	0,04349	E24	0,03558
E4	0,04183	E11	0,03636	E18	0,03844	E25	0,03350
E5	0,03766	E12	0,02167	E19	0,03516	E26	0,03308
E6	0,03558	E13	0,04391	E20	0,03308	E27	0,03505
E7	0,03933	E14	0,03636	E21	0,03308	E28	0,03516

Tablo 13. Temel olay BE5 benzerlik fonksiyonları değerleri hesaplamaları

Bulanık Değerler			Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri	Benzerlik fonksiyonu	Benzerlik fonksiyon değeri
0,17	0,27	0,37	S(1-2)	0,77000	S(3-14)	0,86000	S(6-8)	0,86000	S(9-12)	0,54000	S(12-24)	0,63000	S(17-24)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-3)	0,77000	S(3-15)	0,86000	S(6-9)	0,77000	S(9-13)	0,54000	S(12-25)	0,91000	S(17-25)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-4)	0,77000	S(3-16)	0,86000	S(6-10)	0,86000	S(9-14)	0,54000	S(12-26)	0,63000	S(17-26)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-5)	0,77000	S(3-17)	0,86000	S(6-11)	0,77000	S(9-15)	0,54000	S(12-27)	0,91000	S(17-27)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-6)	0,77000	S(3-18)	0,86000	S(6-12)	0,86000	S(9-16)	0,54000	S(12-28)	0,63000	S(17-28)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-7)	0,77000	S(3-19)	0,86000	S(6-13)	0,77000	S(9-17)	0,54000	S(13-14)	0,91000	S(18-19)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-8)	0,77000	S(3-20)	0,86000	S(6-14)	0,86000	S(9-18)	0,54000	S(13-15)	0,63000	S(18-20)	0,91000
0,17	0,27	0,37	S(1-9)	0,77000	S(3-21)	0,86000	S(6-15)	0,77000	S(9-19)	0,54000	S(13-16)	0,91000	S(18-21)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-10)	0,77000	S(3-22)	0,86000	S(6-16)	0,86000	S(9-20)	0,54000	S(13-17)	0,63000	S(18-22)	0,91000
0,35	0,50	0,65	S(1-11)	0,77000	S(3-23)	0,86000	S(6-17)	0,77000	S(9-21)	0,54000	S(13-18)	0,91000	S(18-23)	0,91000
0,17	0,27	0,37	S(1-12)	0,77000	S(3-24)	0,86000	S(6-18)	0,86000	S(9-22)	0,54000	S(13-19)	0,63000	S(18-24)	0,91000
0,17	0,27	0,37	S(1-13)	0,77000	S(3-25)	0,86000	S(6-19)	0,77000	S(9-23)	0,54000	S(13-20)	0,91000	S(18-25)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-14)	0,77000	S(3-26)	0,86000	S(6-20)	0,86000	S(9-24)	0,54000	S(13-21)	0,63000	S(18-26)	0,91000
0,17	0,27	0,37	S(1-15)	0,77000	S(3-27)	0,86000	S(6-21)	0,77000	S(9-25)	0,54000	S(13-22)	0,91000	S(18-27)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-16)	0,77000	S(3-28)	0,86000	S(6-22)	0,86000	S(9-26)	0,54000	S(13-23)	0,63000	S(18-28)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-17)	0,77000	S(4-5)	0,86000	S(6-23)	0,77000	S(9-27)	0,54000	S(13-24)	0,91000	S(19-20)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-18)	0,77000	S(4-6)	0,86000	S(6-24)	0,86000	S(9-28)	0,54000	S(13-25)	0,63000	S(19-21)	0,91000
0,17	0,27	0,37	S(1-19)	0,77000	S(4-7)	0,86000	S(6-25)	0,77000	S(10-11)	0,54000	S(13-26)	0,91000	S(19-22)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-20)	0,77000	S(4-8)	0,86000	S(6-26)	0,86000	S(10-12)	0,54000	S(13-27)	0,63000	S(19-23)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-21)	0,77000	S(4-9)	0,86000	S(6-27)	0,77000	S(10-13)	0,54000	S(13-28)	0,91000	S(19-24)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-22)	0,77000	S(4-10)	0,86000	S(6-28)	0,86000	S(10-14)	0,54000	S(14-15)	0,63000	S(19-25)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-23)	0,77000	S(4-11)	0,86000	S(7-8)	0,77000	S(10-15)	0,54000	S(14-16)	0,91000	S(19-26)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-24)	0,77000	S(4-12)	0,86000	S(7-9)	0,86000	S(10-16)	0,54000	S(14-17)	0,63000	S(19-27)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-25)	0,77000	S(4-13)	0,86000	S(7-10)	0,77000	S(10-17)	0,54000	S(14-18)	0,91000	S(19-28)	0,91000
0,07	0,13	0,19	S(1-26)	0,77000	S(4-14)	0,86000	S(7-11)	0,86000	S(10-18)	0,54000	S(14-19)	0,63000	S(20-21)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(1-27)	0,77000	S(4-15)	0,86000	S(7-12)	0,77000	S(10-19)	0,54000	S(14-20)	0,91000	S(20-22)	0,91000

Tablo 13'ün devamı

0,07	0,13	0,19	S(1-28)	0,77000	S(4-16)	0,86000	S(7-13)	0,86000	S(10-20)	0,54000	S(14-21)	0,63000	S(20-23)	0,91000
0,00	0,04	0,08	S(2-3)	0,77000	S(4-17)	0,86000	S(7-14)	0,77000	S(10-21)	0,54000	S(14-22)	0,91000	S(20-24)	0,91000
			S(2-4)	0,77000	S(4-18)	0,86000	S(7-15)	0,86000	S(10-22)	0,54000	S(14-23)	0,63000	S(20-25)	0,91000
			S(2-5)	0,77000	S(4-19)	0,86000	S(7-16)	0,77000	S(10-23)	0,54000	S(14-24)	0,91000	S(20-26)	0,91000
			S(2-6)	0,77000	S(4-20)	0,86000	S(7-17)	0,86000	S(10-24)	0,54000	S(14-25)	0,63000	S(20-27)	0,91000
			S(2-7)	0,77000	S(4-21)	0,86000	S(7-18)	0,77000	S(10-25)	0,54000	S(14-26)	0,91000	S(20-28)	0,91000
			S(2-8)	0,77000	S(4-22)	0,86000	S(7-19)	0,86000	S(10-26)	0,54000	S(14-27)	0,63000	S(21-22)	0,91000
			S(2-9)	0,77000	S(4-23)	0,86000	S(7-20)	0,77000	S(10-27)	0,54000	S(14-28)	0,91000	S(21-23)	0,91000
			S(2-10)	0,77000	S(4-24)	0,86000	S(7-21)	0,86000	S(10-28)	0,54000	S(15-16)	0,63000	S(21-24)	0,91000
			S(2-11)	0,77000	S(4-25)	0,86000	S(7-22)	0,77000	S(11-12)	0,54000	S(15-17)	0,91000	S(21-25)	0,91000
			S(2-12)	0,77000	S(4-26)	0,86000	S(7-23)	0,86000	S(11-13)	0,54000	S(15-18)	0,63000	S(21-26)	0,91000
			S(2-13)	0,77000	S(4-27)	0,86000	S(7-24)	0,77000	S(11-14)	0,54000	S(15-19)	0,91000	S(21-27)	0,91000
			S(2-14)	0,77000	S(4-28)	0,86000	S(7-25)	0,86000	S(11-15)	0,54000	S(15-20)	0,63000	S(21-28)	0,91000
			S(2-15)	0,77000	S(5-6)	0,86000	S(7-26)	0,77000	S(11-16)	0,54000	S(15-21)	0,91000	S(22-23)	0,91000
			S(2-16)	0,77000	S(5-7)	0,86000	S(7-27)	0,86000	S(11-17)	0,54000	S(15-22)	0,63000	S(22-24)	0,91000
			S(2-17)	0,77000	S(5-8)	0,86000	S(7-28)	0,77000	S(11-18)	0,54000	S(15-25)	0,91000	S(22-25)	0,91000
			S(2-18)	0,77000	S(5-9)	0,86000	S(8-9)	0,86000	S(11-19)	0,54000	S(15-26)	0,63000	S(22-26)	0,91000
			S(2-19)	0,77000	S(5-10)	0,86000	S(8-10)	0,77000	S(11-20)	0,54000	S(15-27)	0,91000	S(22-27)	0,91000
			S(2-20)	0,77000	S(5-11)	0,86000	S(8-11)	0,86000	S(11-21)	0,54000	S(15-28)	0,63000	S(22-28)	0,91000
			S(2-21)	0,77000	S(5-12)	0,86000	S(8-12)	0,77000	S(11-22)	0,54000	S(16-17)	0,91000	S(23-24)	0,91000
			S(2-22)	0,77000	S(5-13)	0,86000	S(8-13)	0,86000	S(11-23)	0,54000	S(16-18)	0,63000	S(23-25)	0,91000
			S(2-23)	0,77000	S(5-14)	0,86000	S(8-14)	0,77000	S(11-24)	0,54000	S(16-19)	0,91000	S(23-26)	0,91000
			S(2-24)	0,77000	S(5-15)	0,86000	S(8-15)	0,86000	S(11-25)	0,54000	S(16-20)	0,63000	S(23-27)	0,91000
			S(2-25)	0,77000	S(5-16)	0,86000	S(8-16)	0,77000	S(11-26)	0,54000	S(16-21)	0,91000	S(23-28)	0,91000
			S(2-26)	0,77000	S(5-17)	0,86000	S(8-17)	0,86000	S(11-27)	0,54000	S(16-22)	0,63000	S(24-25)	0,91000
			S(2-27)	0,77000	S(5-18)	0,86000	S(8-18)	0,77000	S(11-28)	0,54000	S(16-23)	0,91000	S(24-26)	0,91000
			S(2-28)	0,77000	S(5-19)	0,86000	S(8-19)	0,86000	S(12-13)	0,54000	S(16-24)	0,63000	S(24-27)	0,91000
			S(3-4)	0,77000	S(5-20)	0,86000	S(8-20)	0,77000	S(12-14)	0,54000	S(16-25)	0,91000	S(24-28)	0,91000
			S(3-5)	0,77000	S(5-21)	0,86000	S(8-21)	0,86000	S(12-15)	0,54000	S(16-26)	0,63000	S(25-26)	0,91000
			S(3-6)	0,77000	S(5-22)	0,86000	S(8-22)	0,77000	S(12-16)	0,54000	S(16-27)	0,91000	S(25-27)	0,91000

Tablo 13'ün devamı

S(3-7)	0,77000	S(5-23)	0,86000	S(8-24)	0,86000	S(12-17)	0,54000	S(16-28)	0,63000	S(25-28)	0,91000
S(3-8)	0,77000	S(5-24)	0,86000	S(8-25)	0,77000	S(12-18)	0,54000	S(17-18)	0,91000	S(26-27)	0,91000
S(3-9)	0,77000	S(5-25)	0,86000	S(8-26)	0,86000	S(12-19)	0,54000	S(17-19)	0,63000	S(26-28)	0,91000
S(3-10)	0,77000	S(5-26)	0,86000	S(8-27)	0,77000	S(12-20)	0,54000	S(17-20)	0,91000	S(27-28)	0,91000
S(3-11)	0,77000	S(5-27)	0,86000	S(8-28)	0,86000	S(12-21)	0,54000	S(17-21)	0,63000		
S(3-12)	0,77000	S(5-28)	0,86000	S(9-10)	0,77000	S(12-22)	0,54000	S(17-22)	0,91000		
S(3-13)	0,77000	S(6-7)	0,86000	S(9-11)	0,86000	S(12-23)	0,54000	S(17-23)	0,63000		

3.1.4. Durulaştırma Aşaması Hesaplamaları ve İlgili Bulgular

Hata ağacı analiz yöntemi, kök sebepler aralarındaki ilişkinin incelemesi amacıyla toplama aşamasında elde edilen bulanık sayı değerleri alan belirsizlik merkezi yöntemi ile her bir kök sebebe ait bulanık olasılık değeri hesaplanmıştır (Sugeno, 1999). BE11 halatın aşırı yüke binmesi temel olayına ait 0,4794 olarak hesaplanan bulanık olasılık değeri en büyük değer olarak hesaplanmıştır (Tablo 14). İkinci ve üçüncü önemli olasılık değerlerine sahip temel olayların ise BE2 (anormal haggging/sagging) ve BE23 (pompa sigorta atması) olduğu görülmüştür.

Tablo 14. Temel olaylara ait bulanık olasılık skoru değerleri

Temel Olay No	Toplama Aşaması Sonuçları			Bulanık Olasılık Skoru
BE1	0,14237	0,22676	0,31116	0,22676417
BE2	0,37272	0,47656	0,58040	0,47655923
BE3	0,10495	0,17724	0,24953	0,17723945
BE4	0,25583	0,33680	0,41777	0,33679934
BE5	0,07895	0,14484	0,21073	0,14484293
BE6	0,18424	0,28411	0,38399	0,28411277
BE7	0,19040	0,29076	0,39111	0,29075626
BE8	0,26658	0,36020	0,45383	0,36020381
BE9	0,10346	0,17433	0,24521	0,17433077
BE10	0,08041	0,14945	0,21849	0,14944960
BE11	0,39046	0,47949	0,56852	0,47948957
BE12	0,21685	0,32302	0,42920	0,32302335
BE13	0,18134	0,28047	0,37961	0,28047500
BE14	0,15751	0,24752	0,33752	0,24751520
BE15	0,28112	0,41291	0,54470	0,41291017
BE16	0,07137	0,13341	0,19545	0,13340976
BE17	0,07338	0,13911	0,20484	0,13911292
BE18	0,07814	0,14187	0,20561	0,14187358
BE19	0,13341	0,21935	0,30529	0,21934761

Tablo 14'ün Devamı

BE20	0,07130	0,13442	0,19755	0,13442406
BE21	0,13259	0,21502	0,29744	0,21501613
BE22	0,07505	0,13792	0,20078	0,13791533
BE23	0,35097	0,45278	0,55458	0,45277508
BE24	0,20830	0,31167	0,41503	0,31166502
BE25	0,31928	0,41407	0,50885	0,41406705
BE26	0,18490	0,28073	0,37656	0,28072911
BE27	0,19969	0,29824	0,39680	0,29824276
BE28	0,11366	0,19010	0,26653	0,19009533
BE29	0,18516	0,23278	0,28040	0,23277776

3.1.5. Başarısızlık Olasılık Üretimi Neticesi Elde Edilen Bulgular

Bulanık olasılık puanın, bulanık başarısızlık olasılığına dönüştürmek amacıyla tercih edilen formül (20) metodoloji bölümünde bahsedilmiş ve bu formül, BE'lerin her birine ayrı ayrı uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablo 15'de gösterilmektedir. En yüksek bulanık başarısızlık olasılığı değerine sahip BE'ler 4,317E-03 ve 4,226E-03 sayısal değerleri ile BE11 (halatın aşırı yüke binmesi) ve BE2 (anormal hagging/saging) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 15. Temel olayların bulanık başarısızlık olasılığı değerleri

Temel Olay	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	Temel Olay	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	Temel Olay	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	Temel Olay	Bulanık Başarısızlık Olasılığı
BE1	3,441E-04	BE9	1,367E-04	BE17	5,963E-05	BE25	2,610E-03
BE2	4,226E-03	BE10	7,795E-05	BE18	6,420E-05	BE26	7,102E-04
BE3	1,451E-04	BE11	4,317E-03	BE19	3,068E-04	BE27	8,700E-04
BE4	1,306E-03	BE12	1,136E-03	BE20	5,238E-05	BE28	1,861E-04
BE5	6,938E-05	BE13	7,081E-04	BE21	2,864E-04	BE29	3,764E-04
BE6	7,394E-04	BE14	4,641E-04	BE22	5,772E-05		
BE7	7,990E-04	BE15	2,586E-03	BE23	3,540E-03		
BE8	1,634E-03	BE16	5,090E-05	BE24	1,008E-03		

3.1.6. Tepe Olay Başarısızlık Olasılığı İncelenmesi Bulguları

Uzman grup tarafından değerlendirilmiş olan 29 adet BE neticesinde bulunan bulanık başarısızlık olasılık değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmada 209 adet MCS'nin ve TE olasılık değerinin hesaplanmasında Open FTA programı tercih edilmiştir (Uğurlu vd., 2013). TE'nin olasılık değeri 2,353304E-006 olarak bulunmuştur.

3.1.7. Hata Ağacı Önem Derecesinin Ölçü Hesaplanması ile İlgili Bulgular

Tepe olay (havuz kazası) oluşumunda etkili olan en önemli BE'ler ve MCS'lerin belirlenmesi oldukça değerli bir işlemdir. Bu verilerin doğru bir biçimde hesaplanması, zorunlu iyileştirmelerin belirlenebilmesi amacıyla öncelikli bir konuma sahiptir. Havuz kazası hata ağacı havuz kazası oluşumuna sebep olan en önemli temel olaylar, Fusselle-Vesely önem (FV-I) değerleri ile doğrulanabilmektedir (Tablo 16). Bu değerlerin hesaplanması neticesinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde BE11 (halatın aşırı yüke binmesi), BE2 (anormal haggingsagging), BE23 (pompa sigorta atması), BE25 (tel halatın tambura düzensiz/gevşek sarılması) ve BE15 (halatın yanlış pozisyonundan verilmesi) temel olaylarına özel olarak dikkat gösterilmesi gerektiğine ve bu BE'lerin havuz kazasına neden olabilecek en yüksek potansiyele sahip ilk beş temel olaylar oldukları sonucuna varılmaktadır.

Tablo 16. BE için FV-I ve Bulanık Başarısızlık Olasılığı Hesaplamaları

Temel Olay BE	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	FV-I Değeri	Sıra	Temel Olay BE	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	FV-I Değeri	Sıra
BE1	3,441E-04	1,462E+02	17	BE16	5,090E-05	2,163E+01	29
BE2	4,226E-03	1,796E+03	2	BE17	5,963E-05	2,534E+01	26
BE3	1,451E-04	6,164E+01	21	BE18	6,420E-05	2,728E+01	25
BE4	1,306E-03	5,549E+02	7	BE19	3,068E-04	1,304E+02	18
BE5	6,938E-05	2,948E+01	24	BE20	5,238E-05	2,226E+01	28
BE6	7,394E-04	3,142E+02	12	BE21	2,864E-04	1,217E+02	19
BE7	7,990E-04	3,395E+02	11	BE22	5,772E-05	2,453E+01	27
BE8	1,634E-03	6,945E+02	6	BE23	3,540E-03	1,504E+03	3

Tablo 16'nın devamı

BE9	1,367E-04	5,809E+01	22	BE24	1,008E-03	4,283E+02	9
BE10	7,795E-05	3,312E+01	23	BE25	2,610E-03	1,109E+03	4
BE11	4,317E-03	1,834E+03	1	BE26	7,102E-04	3,018E+02	13
BE12	1,136E-03	4,827E+02	8	BE27	8,700E-04	3,697E+02	10
BE13	7,081E-04	3,009E+02	14	BE28	1,861E-04	7,908E+01	20
BE14	4,641E-04	1,972E+02	15	BE29	3,764E-04	1,600E+02	16
BE15	2,586E-03	1,099E+03	5				

Minimum kesim setleri tepe olayı (havuz kazası) oluşumunda etkisi bulunan en küçük hata ağacı gurubudur. Havuz kazaları için en önemli MCS değerleri “Kesme setinin önemi” (Cut sets importance CS-I) değerlerinin hesaplanması ile ölçülebilir. Tepe olayın meydana gelmesinde en etkili olan 20 minimum kesim setine ait kesme setinin önemi (CS-I) değerleri sırasıyla hesaplanmıştır (Tablo 17). CS-I değerlerinin önem sırası tabloda gösterildiği şekildedir. Bu MCS değerleri havuz kazalarına ait en önemli uygunsuzluklardır. Yapılan hesaplamalar sonucunda havuz kazasının gerçekleşmesi için en yüksek ihtimale sahip olan kesme seti BE2-BE11 (Anormal Haggings/sagging, halatın aşırı yüke binmesi) kök nedenlerinin birleşimi ile meydana gelmektedir.

Tablo 17. Minimum kesme setleri CS-I değerleri

Kesme Kümeleri	Temel Olaylar	Bulanık Başarısızlık Olasılığı	CS-I Değeri	Sıra No
CS1	BE2-BE11	1,82416E-05	7,75148E+00	1
CS2	BE2-BE25	1,10303E-05	4,68717E+00	2
CS3	BE2-BE15	1,09264E-05	4,64300E+00	3
CS4	BE2-BE8	6,90640E-06	2,93477E+00	4
CS5	BE2-BE12	4,80030E-06	2,03981E+00	5
CS6	BE11-BE27	3,75572E-06	1,59593E+00	6
CS7	BE7-BE11	3,44914E-06	1,46566E+00	7
CS8	BE6-BE11	3,19182E-06	1,35631E+00	8
CS9	BE11-BE26	3,06594E-06	1,30282E+00	9

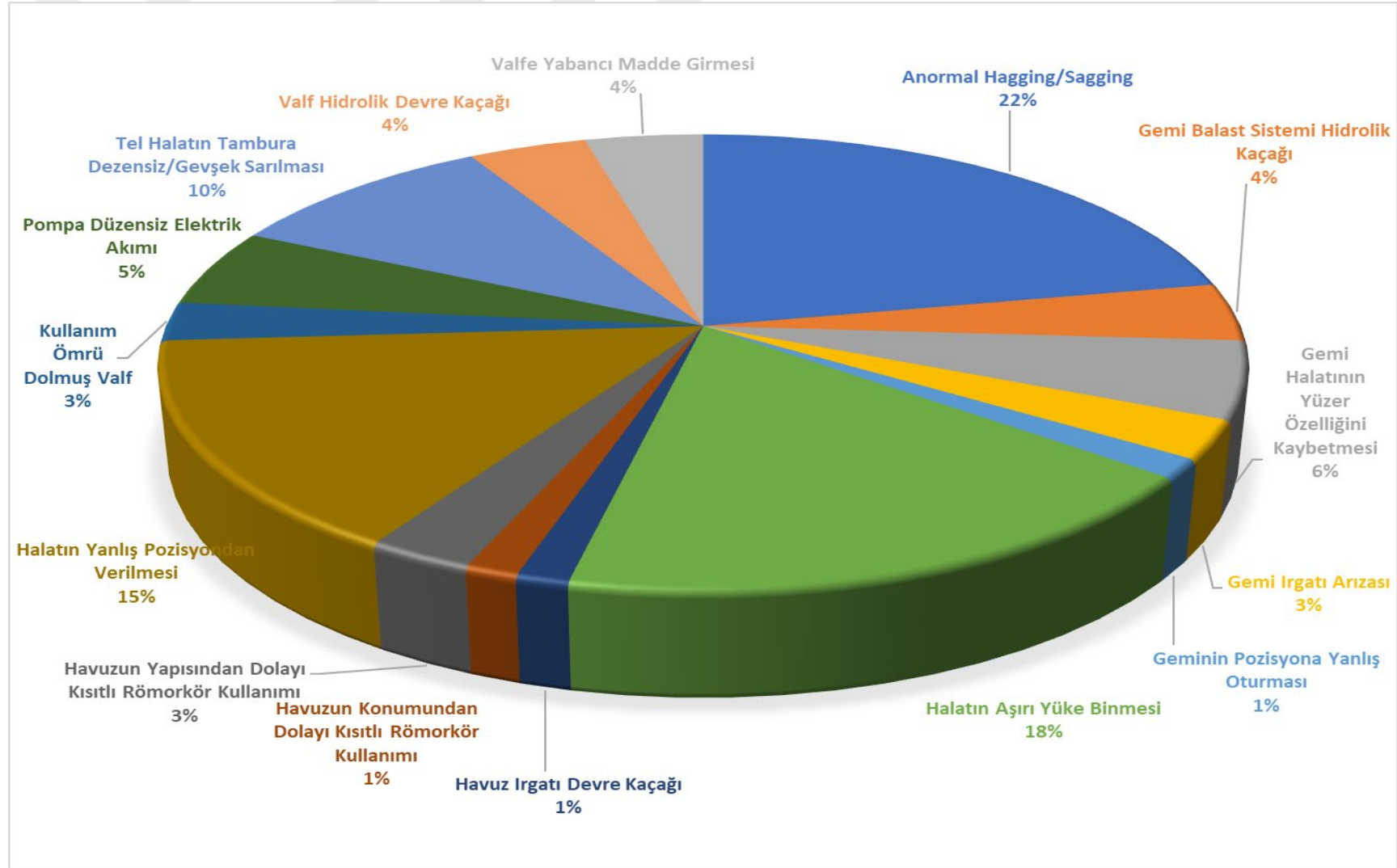
Tablo 17'nin devamı

CS10	BE2-BE13	2,99203E-06	1,27142E+00	10
CS11	BE25-BE27	2,27101E-06	9,65032E-01	11
CS12	BE15-BE27	2,24961E-06	9,55937E-01	12
CS13	BE7-BE25	2,08563E-06	8,86256E-01	13
CS14	BE7-BE15	2,06598E-06	8,77904E-01	14
CS15	BE2-BE14	1,96126E-06	8,33408E-01	15
CS16	BE6-BE25	1,93003E-06	8,20137E-01	16
CS17	BE6-BE15	1,91184E-06	8,12408E-01	17
CS18	BE25-BE26	1,85391E-06	7,87792E-01	18
CS19	BE15-BE26	1,83644E-06	7,80368E-01	19
CS20	BE8-BE27	1,42194E-06	6,04233E-01	20

3.1.8. Duyarlılık Analizi

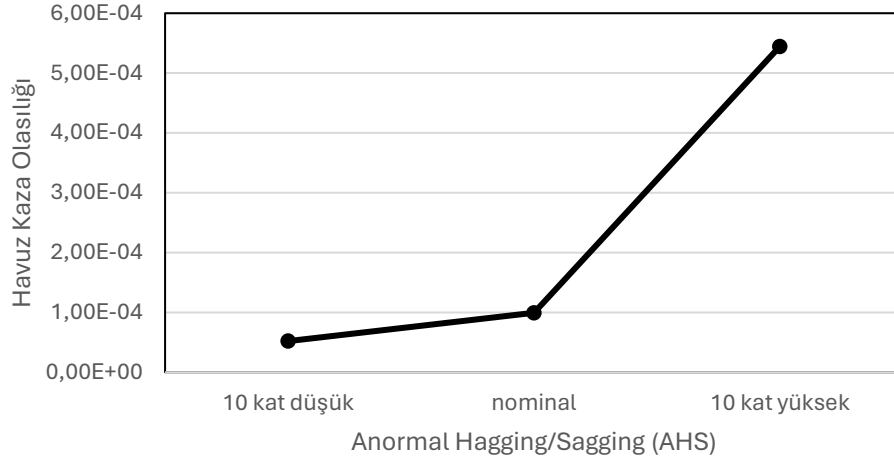
Olasılık değerlerinde hata payını en aza indirmek amacıyla FTA programında duyarlılık analizi yapılmıştır (Şekil 23). Bu amaçla havuz kazalarının oluşmasına neden olan kök sebeplerinin olasılık değerleri sistematik olarak değiştirilmiştir. Bu tür kök sebeplerinde başlangıç olaylarının olasılık değerleri birbirinden bağımsız olarak 10 kat arttırılıp azaltılmış, başlangıç olaylarının kazaya katkı oranı ve önem derecelerindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Havuz kazalarının oluşmasına neden olan altı kök sebep diğer kök sebeplere göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu kök sebeplerin 10 kat arttırılıp azaltılması sırasında havuz kazası olma olasılığı etkileyen kök sebepler şu şekilde sıralanmıştır; Anormal haggingsagging, halatın aşırı yüke binmesi, gemi ırgatı arızası, valf hidrolik devre kaçağı, gemi balast sistemi hidrolik kaçağı ve valfe yabancı madde girmesidir. Anormal haggingsagging kaynaklı bir başlangıç olayının değeri minimum düzeye indirildiğinde %47,6 oranında azalmakta, maksimum düzeye çıkarıldığında ise havuz kazalarının olasılık değeri %447,8 oranında artmaktadır (Şekil 24). Halatın aşırı yüke binmesinden kaynaklanan bir başlangıç olayının değeri minimum düzeye indirildiğinde %18 oranında azalmakta, maksimum düzeye çıkarıldığında ise havuz kazalarının olasılık değeri %307,5 oranında artmaktadır (Şekil 25).

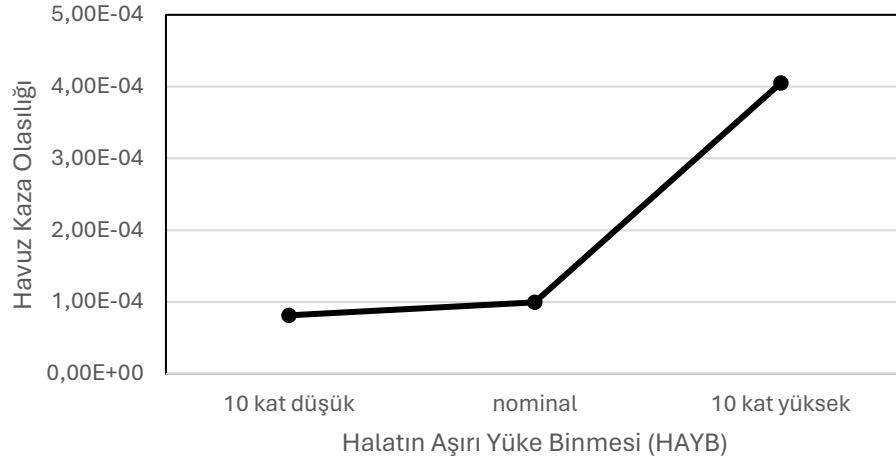


Şekil 23. FFTA kök sebepler dağılımı

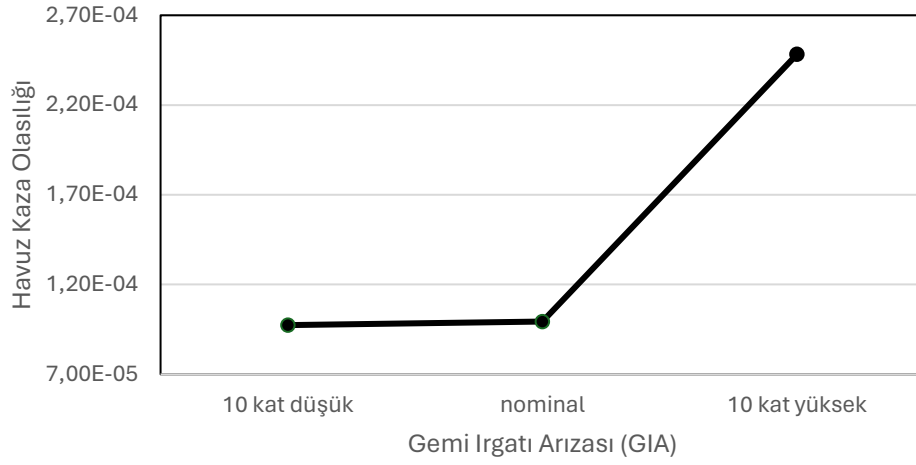
Gemi ırgatı arızasından kaynaklı bir başlangıç olayının değeri minimum düzeye indirildiğinde %2 oranında azalmakta, maksimum düzeye çıkarıldığında ise havuz kazalarının olasılık değeri %149,8 oranında artmaktadır (Şekil 26). Valf hidrolik devre kaçağından kaynaklanan bir başlangıç olayının değeri minimum düzeye indirildiğinde %7,5 oranında azalmakta, maksimum düzeye çıkarıldığında ise havuz kazalarının olasılık değeri %147,9 oranında artmaktadır (Şekil 27). Gemi balast sistemi hidrolik kaçağından kaynaklı bir başlangıç olayının değeri minimum düzeye indirildiğinde %21,6 oranında azalmakta, maksimum düzeye çıkarıldığında ise havuz kazalarının olasılık değeri %114,6 oranında artmaktadır (Şekil 28). Valfe yabancı madde girmesinden kaynaklanan bir başlangıç olayının değeri minimum düzeye indirildiğinde % 7,9 oranında azalmakta, maksimum düzeye çıkarıldığında ise havuz kazalarının olasılık değeri %78 oranında artmaktadır (Şekil 29).



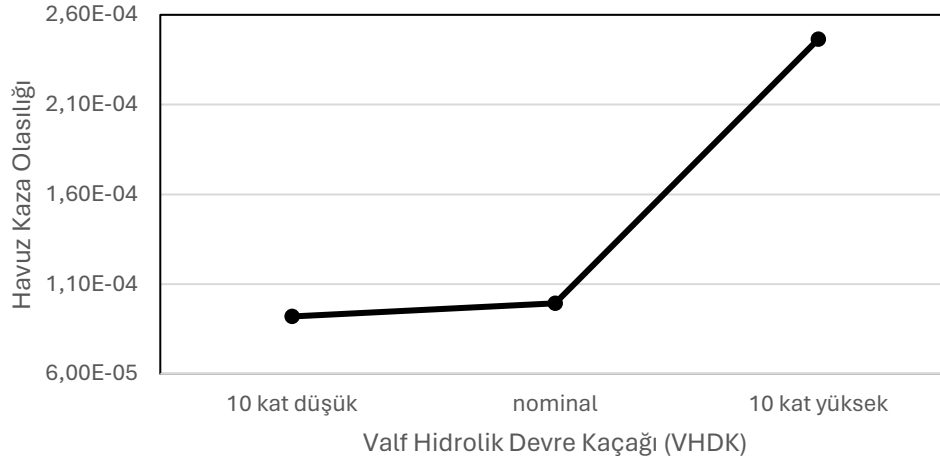
Şekil 24. Anormal Haggling/Sagging



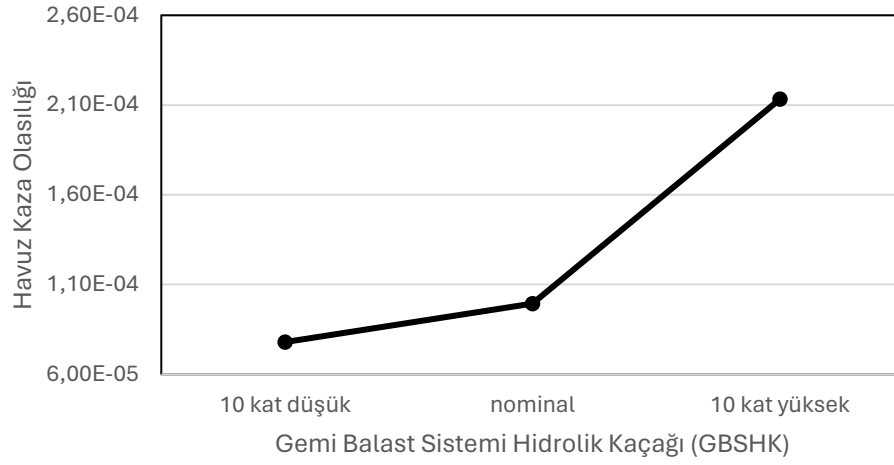
Şekil 25. Halatın Aşırı Yüke Binmesi



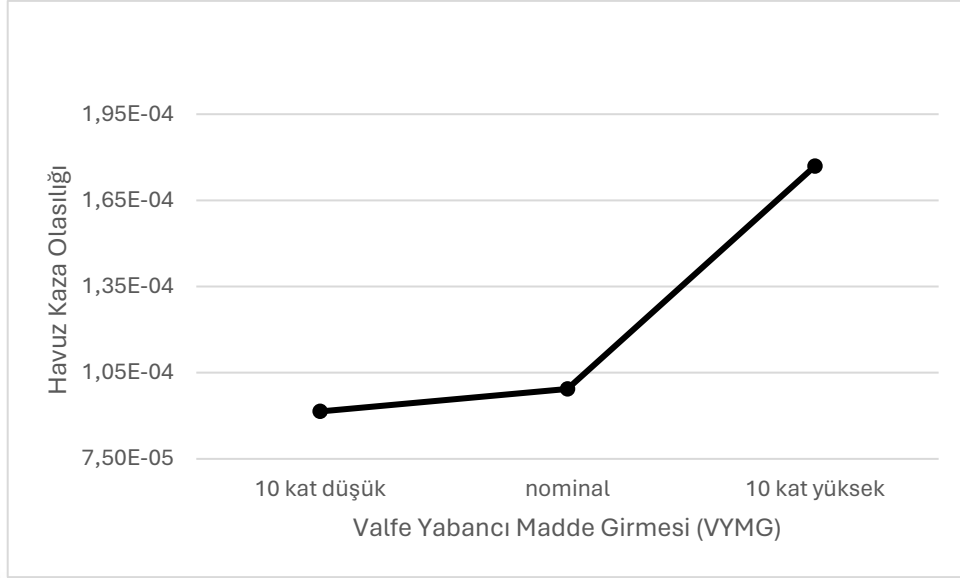
Şekil 26. Gemi İrgatı Arızası



Şekil 27. Valf Hidrolik Devre Kaçağı



Şekil 28. Gemi Balast Sistemi Hidrolik Kaçağı



Şekil 29. Valfe yabancı madde girmesi

3.2. ETA

Bu bölümde olası kök sebepler sonucu meydana gelen havuz kazası sonucunda meydana gelebilecek sonuçların değerlendirmesi ETA tercih edilmiştir. Olay ağacı analiz metodu ile kazayı takip eden durumlar şematik olarak göz önüne sermektedir. Havuz kaza sonucun değerlendirilmesi deniz kazaları konusunda uzman üç akademisyen tarafından yapılmıştır.

Havuz kazası sonucu takip eden olaylar sırasıyla şu şekilde sıralanmıştır; havuz balast operasyonu, gemi yüzdürme operasyonu ve kurtarma müdahalesi. Havuz kazası sonucunda ilk olarak havuzun yüzdürme faaliyetine devam edip edemeyeceği durumuna göre devamında geminin yüzdürülmesi akabinde kurtarma müdahalesi ile havuz kazası sonucu meydana gelebilecek olası sonuçlar değerlendirilmiştir (Şekil 22).

Olay ağacı yapısından da kolaylıkla görüleceği üzere havuz kazası sonucunda; havuz balast operasyonu başarılı, gemi yüzdürme operasyonu başarılı ve kurtarma operasyonu başarılı olması durumunda can/çevre ve mal zararı olmayacağı neticesine varılmıştır. Havuz balast operasyonu başarılı, gemi yüzdürme operasyonu başarılı ve kurtarma müdahalesi başarısız olması durumunda can/çevre zararı olacağı neticesine varılmıştır. Havuz balast operasyonu başarılı, gemi yüzdürme operasyonu başarısız ve kurtarma operasyonu başarılı olması durumunda gemi zararı olacağı değerlendirilmiştir. Havuz balast operasyonu başarılı,

gemi yüzdürme operasyonu başarısız ve kurtarma müdahalesinin de başarısız olduğu durumda gemi ve can/çevre zararı olacağı değerlendirilmiştir.

Havuz kazası neticesinde havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarılı ve kurtarma operasyonu başarılı olduğu durumda havuz zararının meydana geleceği neticesine varılmıştır. Havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarılı ve kurtarma müdahalesinin başarısız olacağı durumda havuz ve can/çevre zararı meydana geleceği neticesine varılmıştır. Havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarısız ve kurtarma operasyonu başarılı geçtiği durumda gemi ve havuz zararı olacağı değerlendirilmiştir. Havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarısız ve kurtarma müdahalesinin de başarısız olduğu durumda ise gemi, havuz ve can/çevre zararı olacağı neticesine varılacağı değerlendirilmiştir (Şekil 22).

3.3. Havuz Kazası Örnek Olaylar

18 Mart 2012 tarihinde pasifik standart saatiyle 06:30'da denetlenmeyen X gemisi, geminin havuzlandığı Y yüzer havuzunun sular altında kalmasıyla alabora oldu, hem X gemisi hem de Y yüzer havuz başlangıçta batmış olmalarına rağmen daha sonra yüzdürüldü. Y yüzer havuzu merkez hattının her iki yanında dörder adet olmak üzere sekiz simetrik balast tankına sahipti. Bu balast tanklarının her birinin yüzer havuz tabanında erişimi sağlayan bir menholü bulunmaktaydı. Bu tanklardaki balast suyunun denize tahliyesi yüzer havuz dış kaplamasında omurgasının yaklaşık 2,8 metre yukarısına yerleştirilmiş manuel bir çek valfler üzerinden yapılmaktaydı. X gemisi havuzlanmaya başlandığında sancak 5 numaralı tankın çek valfi içindeki kalıntılar sebebiyle tam kapandığı için içeri su sızdırmaya başladı. Devamında sancağa meyil sonucu X gemisini dengede tutan tel halatında aşırı yüke binmesi neticesinde takaryalar üzerinden kayarak yan yattı. Sonrasında hem X gemisi hem de Y yüzer havuzundan sıvı ve yakıtların dışarı basılması sonucu ufak bir çevre zararı meydana geldi. Çevre zararına ek olarak X gemisinde 5 milyon dolardan fazla ve Y yüzer havuzunda 818.000 amerikan doları civarında hasar meydana geldi. Örnek olay üzerinden bakılırsa bu çalışmada tercih edilen hata ağacından valfe yabancı madde girmesi (BE27) ve halatın aşırı yüke binmesi (BE11) olasılığı olan $3,76E-06$ altıncı kesme kümesi ile örtüştüğü görülmektedir. Olay ağacı yapısında ise havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarısız ve kurtarma operasyonu başarısız olması sonucu; havuz, gemi ve can/çevre zararı olur sonucu ile örtüştüğü görülmektedir.

17 Mart 2015 tarihinde X gemisi Y yüzer havuzundan çıkış operasyonu sırasında yüzer havuz elektrik kesintisinden dolayı balast pompasını çalıştıramamış ve X gemisini dengede tutan halatlara aşırı yük binmesi neticesinde gemi iskeleye yatarak havuzun yan duvarına çarpmıştır. Çarpma neticesinde gemi karinasında yırtık meydana gelmiştir. Bu yırtıktan içeri su girmesi sonucu gemi ana makinesinde kısa süreli bir yangın meydana gelmiş yapılan müdahale ile yangın söndürülmüş ve can kaybı meydana gelmemiştir. Olay sonucu gemide ve yüzer havuzda maddi hasar ile atlatılmış, can ve çevre zararı meydana gelmemiş. Örnek olay üzerinden bakılırsa bu çalışmada tercih edilen hata ağacından aşırı akım çekilmesi (BE1), halatın aşırı yüke binmesi (BE11) ve yenilenen jeneratör değerinin aynı olmaması (BE28) olasılığı olan $2,76E-10$ ile örtüştüğü görülmektedir. Olay ağacı yapısında ise havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarısız ve kurtarma operasyonu başarılı olması neticesinde; gemi ve havuz zararı olur sonucu ile de örtüşmektedir.

12 Nisan 2019 tarihinde X gemisi ile Y gemisini aynı anda havuza alma manevrası yapmakta olan Z yüzer havuzu balast operasyonu yapılarak çıkış esnasında iki geminin de pozisyonunun doğru olduğunu varsayarak operasyona devam etmesi neticesinde pozisyona yanlış oturan gemilerin halatları aşırı yüke binerek kopmasıyla beraber Z yüzer havuzu da ikiye ayrılmıştır. Olay neticesinde yüzer havuz vinçlerin denize düşmesi sonucu iki tersane personeli yaralanmıştır. Z yüzer havuz kaybı ile sonuçlanan kazada gemi hasarı meydana gelmemiştir. Örnek olay üzerinden bakıldığında, bu çalışmada tercih edilen hata ağacından geminin pozisyona yanlış oturması (BE9) ve halatın aşırı yüke binmesi (BE11) olasılığı $5,90E-07$ ile örtüştüğü görülmektedir. Olay ağacı yapısında ise havuz balast operasyonu başarısız, gemi yüzdürme operasyonu başarılı ve kurtarma operasyonu başarılı olması neticesinde; havuz zararı olur sonucu ile de örtüşmektedir.

3.4. Havuz Kazalarında Riski Azaltmaya Yönelik Önlemler ve ER Yaklaşımı ile Sıralanması

Bu bölümde havuz kazası riskinin azaltılması amacıyla RKS'ler uzman görüşleri sayesinde belirlenmiştir. Bu önlemler tavsiye niteliğindedir ve sözel olarak ortaya konulmasının yanı sıra MCDA yöntemlerinden ER metodu ile sıralanmıştır. Bu uygulamanın amacı, ortaya konan herhangi bir önlemin, havuz kazalarının oluşumunda etkin role sahip uygunsuzlukların üzerindeki etkinliğinin değerlendirebilmektir. Bu sayede önlemler, sayısal da olsa bir fizibilite çalışması yapılmaktadır, önlemlerin aralarında

kıyaslanma mümkün hale gelmektedir. Belirlenen önlemler ve bu önlemlerin etkileyebileceği varsayılan uygunsuzluklar aşağıdaki sunulmuştur.

Öneri 1. Dinamik risk değerlendirme modülünün kullanılması: Bu öneri, çalışmada sunulan, Havuz kazası hata ağacı yapısının bir risk değerlendirme modülü olarak kullanılması önerilmektedir. Bu şekilde gemi kaptanları ve havuz kaptanları gemilerin havuzlanma operasyonları sırasında yaşanacak olan havuz kazası olasılıklarının değişimi gözlemleyebilecektir. Hangi uygunsuzlukların havuz ve gemi için daha büyük risk meydana getirebileceğinin farkında olabilecektir. Hata ağacının kök sebeplerinden, ilgili gemi havuzlanma operasyonu için elektrikçi hazırda bekletilmesi gerekir mi, acil durum haberleşme sistemi kurulmalı mı veya filtrelerin düzenli kontrol edilmesi hususlarında tavsiyesinde bulunulabilecektir. Hata ağacının hedeflendiği şekilde kullanılması durumunda; Gemi Irgat Arızası, Halatın Aşırı Yüke Binmesi, Irgat Sigorta Atması, Tel Halatın Aşırı Yüke Binmesi, Havuzun Konumundan Dolayı Kısıtlı Römorkör Kullanımı, Pompa Emiş Suyu Eksikliği, Pompa Sigorta Atması, Yenilenen Pompa ve Valflerin Daha Fazla Güce İhtiyaç Duyması, Valf Hidrolik Devre Kaçağı, Geminin Pozisyona Yanlış Oturması, Kana Rakamlarının Yanlış Markalanması, Anormal Haggıng/Sagging ve Gemi Balast Sistemi Devre Kaçağı kök sebeplerine olumlu etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Öneri 2. Ehil kişiler tarafından zamanında bakım/tutum yapılması: Yüzer havuzlarda bakım/tutumlar genellikle tersane personeli tarafından yaptırılmaktadır. Bu personellerin çoğunluğu taşeron işçi olmaları sebepleriyle tecrübe konusunda eksiklikleri bulunmaktadır. Bu tecrübe eksikliği de bakım/tutum faaliyetlerinin vaktinde yapılamamasına sebep olmaktadır. Bakım/tutum işlemleri için ilgili bakım/tutum hususunda yeterliliğe sahip kişiler tarafından zamanında yapılması havuz kaza ağacındaki kök sebeplerden birkaçını kontrol altına alınabilir. Uzman önerileri doğrultusunda bu önerinin; Gemi Irgat Arızası, Irgat Sigorta Atması, Pompa Düzensiz Elektrik Akımı, Valf Hidrolik Devre Kaçağı kök sebeplerine olumlu etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Öneri 3. Havuz kaptanlığına özel, sertifikalı eğitim; Yüzer havuzlarda istihdam edilen havuz kaptanlarının yeterliliklerine bakıldığında azınlığın uzakyol kaptanı olduğu görülmektedir. Geminin havuzlanma operasyonunda kullanılan yüzer havuzun tanımında da gemi olarak anıldığından yapılacak olan operasyonu gemilerde balast alma-verme operasyonlarında tecrübe sağlamış, devamında gemi manevrası üzerine tecrübesi bulunan gemi kaptanı eğitim seviyesinde kişiler tarafından kullanılacak havuza özel sertifikasyonlu eğitim verilebilir. Bu öneride eğitimin içeriği konusunda sonuca varılmamıştır. Bu süreç

Türk Denizciliğinin ilgili taraflarının hepberaber katılımı ve çabasıyla yürütölüp sonuçlandırabilir. Bu öneride havuz kaptanlığına özel, sertifikalı eğitim verilirse, havuz kaza ağacındaki hangi kök sebeplere çözüm getirebileceği ortaya konmuştur. Bu önerinin etkileyebileceği potansiyel kök sebepler; halatın aşırı yüke binmesi, halatın yanlış pozisyonundan verilmesi, tel halatın aşırı yüke binmesi, tel halatın tambura düzensiz/gevşek sarılması, valfe yabancı madde girmesi, kullanım ömrü dolmuş valf ve valf hidrolik devre kaçağı olduğu düşünülmektedir.

Öneri 4. Havuzlanma sırasında elektrikçinin hazırda bekletilmesi; Bu öneri gemilerin havuzlanma operasyonu sırasında anlık olarak ortaya çıkabilecek uygunsuzlukların kontrol altına alabilmek amacına yöneliktir. Gemi havuzlanma operasyonlarında birden fazla elektrik gücü kullanan makine bulunmaktadır. Bu makinelerde anlık olarak meydana gelen arıza ve aksaklıklar havuz kazası oluşumlarını doğrudan etkilemektedir. Bunu önlemek maksadıyla elektrikçi gemi havuzlanma operasyonu süresince hazırda bekletilebilir. Arıza ortaya çıktığı anda ilgili makineye müdahale ederek havuz kazasını engelleyebilir veya havuz kazası sonucunun boyutunu değiştirebilir. Her iki sonuçta riskin azaltılmasında önemli role sahip olur. Bu önerinin hedefine uygun uygulanması halinde etkileyebileceği kök sebepler; ırgat sigorta atması, aşırı akım çekilmesi, pompa sigorta atması, elektrik hattı bakım/tutum ve gemi ırgat arızasıdır.

Öneri 5. Halatların emniyetli çalışma yük sınırı içinde kullanılması; Gemi havuzlanma operasyonlarında geminin uygun pozisyona getirilmesinde en önemli rolü kullanılan halatlar üstlenmektedir. Bu öneride manevrada kullanılacak olan halatların kesilmesini engellemek amaçlanmıştır. Halatların emniyetli çalışma yük sınırı dahilinde kullanılması manevranın emniyetini de arttırmış olacaktır. Bu nedenle, gemi havuzlanma manevralarında kullanılan halatların emniyetli çalışma yük sınırları içerisinde kullanılması havuz kazalarını nasıl etkileyeceği ER yaklaşımı ile incelenmiştir. Bu önerinin olumlu etkileyeceği kök sebepler; tel halatın aşırı yüke binmesi, tel halatın tambura düzensiz/gevşek sarılması, geminin pozisyona yanlış oturması ve gemi halatının yüzer özelliğini kaybetmesidir.

Öneri 6. Acil durum yedek haberleşme sistemi kurulması; Gemi havuzlanma operasyonun olmazsa olmazı olan havuzlanma operasyonun paydaşları arası olası iletişimin kopması durumunda yedek bir haberleşme sistemi kurulması önermektedir. Bu tür yedek haberleşme sistemi gemilerde cihaz çiftlemesi şeklinde kullanılmaktadır. Bu öneri, havuz kaynaklı ve valf arızası uygunsuzlukların azaltılmasını hedeflemektedir. Acil durum haberleşme sistemi kurulması; iletişimin kopması, halatın aşırı yüke binmesi, halatın yanlış

pozisyonundan verilmesi, tel halatın aşırı yüke binmesi, tel halatın tambura düzensiz/gevşek sarılması, pompa sigorta atması, aşırı akım çekilmesi ve valf hidrolik devre kaçağı kök sebeplerini olumlu etkileyebileceği düşünülmektedir.

Öneri 7. Manevrada yeterlilikli personelin kullanılması; Gemi havuzlanma operasyonları sırasında manevralarda kullanılan ekipmanlar ve özellikleri göz önüne alındığında, bu ekipmanlara aşına ve ilgili eğitim almış personelin kullanması önerilmektedir. Benzer şekilde yeterlilikli personeller gemilerin limanlara yanaşma ve kalkış manevralarında sahilde palamarcı olarak adlandırılan asgari gemici yeterliliğindeki kişilerden oluşmaktadır. Bu öneri ile havuz kaynaklı, pompa çalışmaz takarya problemi ve valf arızası kaynaklı uygunsuzlukların azaltılması hedeflenmektedir. Manevrada yeterlilikli personelin kullanılması; gemi ırgat arızası, iletişimin kopması, halatın aşırı yüke binmesi, havuz ırgatı sigorta atması, pompa düzensiz elektrik akımı ve geminin pozisyona yanlış oturması kök sebeplerini olumlu etkileyebileceği düşünülmektedir.

Öneri 8. Filtrelerin düzenli kontrol edilmesi; Gemi havuzlanma operasyonlarında sırasında kullanılan ekipmanların çalışmaları için ihtiyaç duydukları filtreleme işleminin daha verimli olması için düzenli aralıklarla kontrol edilmesini önermektedir. Düzenli aralıklarla kontrol edilen filtreler sayesinde kullanılan ekipmanlarda filtre kaynaklı uygunsuzluk yaşanma sıklığı düşmesi beklenmektedir. Filtrelerin düzenli kontrol edilmesi önerisi; gemi balast sistemi hidrolik devre kaçağı, gemi balast sistemi devre kaçağı, valf hidrolik devre kaçağı, valfe yabancı madde girmesi, pompa sigorta atması, pompa emiş suyu eksikliği ve gemi ırgatı arızası kök sebeplerini olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Öneri 9. Gemi takaryalara oturmadan önce profesyonel balıkadam ile gözle kontrol edilmesi; Gemi havuzlanma operasyonlarında en kritik an olan geminin havuz ile temas anında geminin istenilen konumda olduğunun doğruluğunun teyit edilmesi amaçlanmaktadır. Profesyonel balıkadamın gözle yapacağı kontrol neticesinde havuzlanma operasyonuna emniyetli bir şekilde devam edilip edilmemesi yönünde karar alınmasında önemli rol alacaktır. Bu sebeple, gemi takaryalara oturmadan önce profesyonel balıkadam ile gözle kontrol edilmesinin havuz kazaları nasıl etkileyeceği ER metodu ile incelenmiştir. Bu önerinin, gemi kaynaklı ve takarya problemi uygunsuzlarının yaşanma sıklığı azalması beklenmektedir. Bu öneri ile gemi balast hidrolik kaçağı, gemi balast sistemi devre kaçağı, anormal haggingsagging, gemide yapılan gayri resmi tadilat, kana rakamlarının yanlış

markalanması ve balast tank iskandillerinin yanlış alınması kök sebeplerini olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.



Şekil 30. Havuz Kazası Hata ağacı esas alınarak oluşturulmuş ER yapısı

ER yönteminin uygulanabilmesi için öncelikli olarak değerlendirme kriterlerin sınıflandırılması ve MCDA yapısının meydana getirilmesi gerekmektedir. Çalışmanın yöntem kısmında da bahsedildiği üzere ER yapısı; Havuz kazası hata ağacı analizi esas alınarak meydana getirilmiştir (Şekil 30). Bu şekilde havuz kazası yapısı ile ER yapısı aralarındaki tutarlılık oluşturulmuştur. Ayriyeten önerilerin etkinliği doğrudan hata ağaçtaki kök sebepler üzerinden değerlendirileceği için anlaşılması, yorumlanması ve kıyaslanması daha basit olacaktır. İnşa edilen ER yapısında aynı seviyede bulunan kriterlerin ağırlık faktörlerin eşit olduğu ($1/\text{aynı seviyedeki toplam kriter sayısı}$) varsayılmıştır. Örnek olarak, Havuz Irgatı Arızası seviyesi altındaki; Irgat Yetersiz Havalandırma, Irgat Sigorta Atması ve Havuz Irgatı Devre Kaçağı kriterlerinin ağırlık dağılımları $\frac{1}{3} = 0,3$ olarak hesaplanmıştır. Yapı inşa edilirken, MCDA'nın temel prensipleri doğrultusunda, yukarıda açıklanmış olan bütün öneriler alternatifler olarak değerlendirilmiştir. Uzmanlardan, her bir alternatifin her değerlendirme kriteri üzerindeki potansiyel etkisini 3'lü likert ölçeğine uygun olarak (Etkilemez, Kısmen Azaltır, Ortadan Kaldırır) değerlendirmeleri istenmiştir. Alternatiflerin etkinliği değerlendiren uzmanlar havuz kazası hata ağacı analizindekiler ile aynı kişiler olduklarından görüşler eşit ağırlıklı olarak kabul edilmiştir.

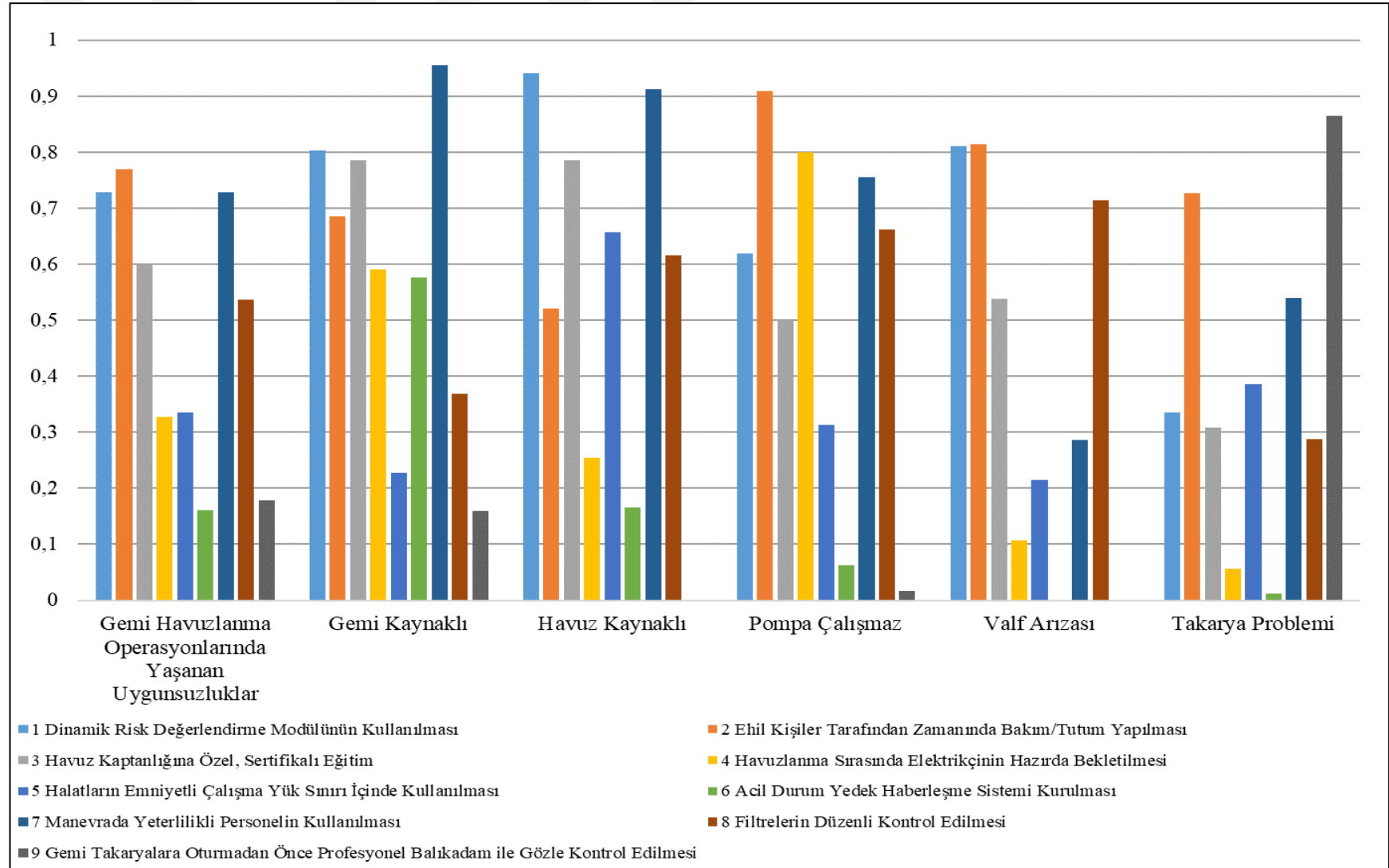
ER uygulaması neticesinde uzmanlar tarafından oluşturulan olan 9 önerinin havuz kazaları hata ağacı üzerindeki performans puanları IDS programında hesaplanmıştır (Tablo 18 ve Tablo 19). Alternatiflerin genel performans puanları değerlendirildiğinde en etkili olan ehil kişiler tarafından zamanında bakım/tutum yapılmasıdır (0,77) (Öneri 2). Ehil kişiler tarafından zamanında bakım/tutum yapılmasını sırasıyla; Pompa Çalışmaz (0,91), Valf Arızası (0,81), Takarya Problemi (0,73), Gemi Kaynaklı (0,69) ve Havuz Kaynaklı (0,52) uygunsuzluklar üzerinde etkilidir (Şekil 31). Ehil kişiler tarafından zamanında bakım/tutum yapılması elektrik kaynaklı uygunsuzluğu (0,93) ve pompa arızasını (0,85) azaltarak doğrudan havuz kaza oluşumunu etkileyebilmektedir (Şekil 32). Valf arızası seviyesinde ehil kişiler tarafından zamanında bakım/tutum yapılması kullanım ömrü dolmuş valfi tamamen (1,00), valf hidrolik devre kaçağını (0,75) ve valfe yabancı madde girmesini (0,65) azaltarak havuz kaza oluşumunu etkileyebilmektedir. Takarya problemi seviyesinde, gemi balast sistemi arızasını tamamen (1,0), gemi tarafından draftların yanlış verilmesi (0,85), takarya düzeninin bozulması (0,50) ve gemi resim/plan güncel olmamasını (0,40) azaltarak havuz kaza oluşumunu etkileyebilmektedir. Havuz kaynaklı seviyesinde ise havuz ırgatı arızasını tamamen (1,0) ve tel halatın tamburda sıkışmasını (0,55) azaltmaktadır.

Tablo 18. Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı kök sebepleri üzerindeki dağılımı

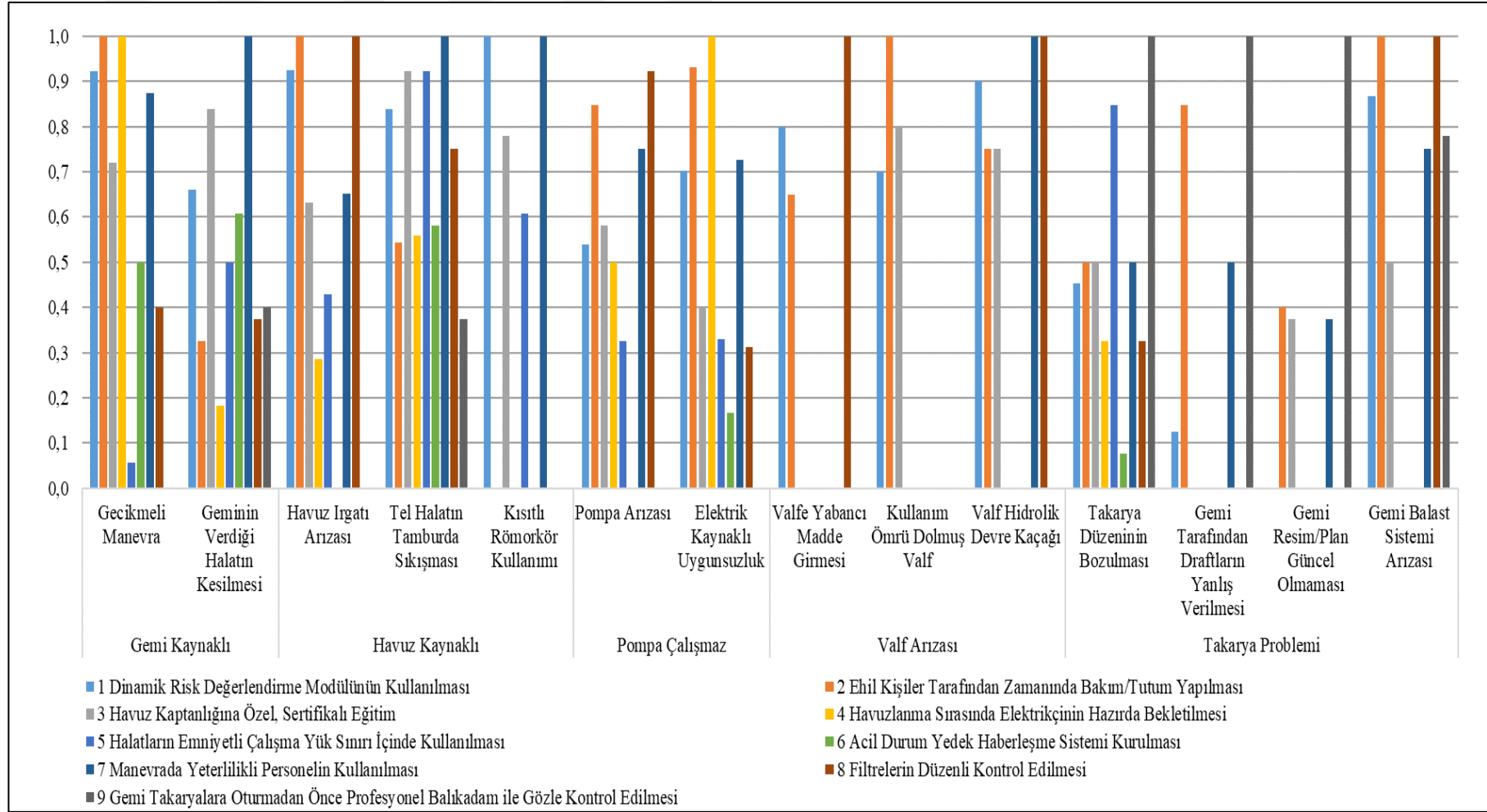
Sıra No/Öneri		Gemi Havuzlanma Operasyonlarında Yaşanan Uygunsuzluklar	Gemi Kaynaklı	Havuz Kaynaklı	Pompa Çalışmaz	Valf Arızası	Takarya Problemi
1	Dinamik Risk Değerlendirme Modülünün Kullanılması	0,7283	0,8033	0,9411	0,6187	0,8116	0,3358
2	Ehil Kişiler Tarafından Zamanında Bakım/Tutum Yapılması	0,7700	0,6860	0,5208	0,9088	0,8136	0,7271
3	Havuz Kaptanlığına Özel, Sertifikalı Eğitim	0,5984	0,7855	0,7852	0,5001	0,5385	0,3082
4	Havuzlanma Sırasında Elektrikçinin Hazırda Bekletilmesi	0,3279	0,5909	0,2551	0,8000	0,1067	0,0561
5	Halatların Emniyetli Çalışma Yük Sınırı İçinde Kullanılması	0,3361	0,2273	0,6567	0,3137	0,2143	0,3865
6	Acil Durum Yedek Haberleşme Sistemi Kurulması	0,1603	0,5761	0,1663	0,0621	0,1714	0,0123
7	Manevrada Yeterlilikli Personelin Kullanılması	0,7282	0,9545	0,9124	0,7550	0,2857	0,5395
8	Filtrelerin Düzenli Kontrol Edilmesi	0,5363	0,3684	0,6154	0,6624	0,7143	0,2881
9	Gemi Takaryalara Oturmadan Önce Profesyonel Balıkadam ile Gözle Kontrol Edilmesi	0,1777	0,1600	0,0909	0,0162	0,0000	0,8648

Tablo 19. Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı alt seviyeler üzerindeki performansı

Sıra No/Öneri	Gemi Kaynaklı		Havuz Kaynaklı			Pompa Çalışmaz		Valf Arızası			Takarya Problemi				
	Gecikmeli Manevra	Geminin Verdiği Halatın Kesilmesi	Havuz Irgatı Arızası	Tel Halatın Tamburda Sıkışması	Kısıtlı Römorkör Kullanımı	Pompa Arızası	Elektrik Kaynaklı Uygunsuzluk	Valfe Yabancı Madde Girmesi	Kullanım Ömrü Dolmuş Valf	Valf Hidrolik Devre Kaçağı	Takarya Düzeninin Bozulması	Gemi Tarafından Draftların Yanlış Verilmesi	Gemi Resim/Plan Güncel Olmaması	Gemi Balast Sistemi Arızası	
1	Dinamik Risk Değerlendirme Modülünün Kullanılması	0,923	0,661	0,925	0,839	1,000	0,540	0,701	0,800	0,700	0,900	0,454	0,125	0,000	0,867
2	Ehil Kişiler Tarafından Zamanında Bakım/Tutum Yapılması	1,000	0,325	1,000	0,545	0,000	0,848	0,932	0,650	1,000	0,750	0,500	0,848	0,400	1,000
3	Havuz Kaptanlığına Özel, Sertifikalı Eğitim	0,720	0,839	0,631	0,923	0,780	0,581	0,402	0,000	0,800	0,750	0,500	0,000	0,375	0,500
4	Havuzlanma Sırasında Elektrikçinin Hazırda Bekletilmesi	1,000	0,182	0,286	0,558	0,000	0,500	1,000	0,000	0,000	0,000	0,325	0,000	0,000	0,000
5	Halatların Emniyetli Çalışma Yük Sınırı İçinde Kullanılması	0,056	0,500	0,429	0,923	0,607	0,325	0,331	0,000	0,000	0,000	0,848	0,000	0,000	0,000
6	Acil Durum Yedek Haberleşme Sistemi Kurulması	0,500	0,607	0,000	0,582	0,000	0,000	0,167	0,000	0,000	0,000	0,077	0,000	0,000	0,000
7	Manevrada Yeterlilikli Personelin Kullanılması	0,875	1,000	0,651	1,000	1,000	0,750	0,726	0,000	0,000	1,000	0,500	0,500	0,375	0,750
8	Filtrelerin Düzenli Kontrol Edilmesi	0,400	0,375	1,000	0,750	0,000	0,923	0,313	1,000	0,000	1,000	0,325	0,000	0,000	1,000
9	Gemi Takaryalara Oturmadan Önce Profesyonel Balıkadam ile Gözle Kontrol Edilmesi	0,000	0,400	0,000	0,375	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,780



Şekil 31. Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı kök sebepleri üzerindeki performans dağılımı



Şekil 32. Gemi havuzlanma operasyonları için yapılan önerilerin hata ağacı kök sebepler üzerine dağılımı

Bu çalışmanın neticesi olarak geliştirilmiş dinamik risk değerlendirme modülünün kullanılması (Önlem 1) ER sonuçlarına göre, havuz kazası hata ağacı ana seviyeleri üzerinde en etkili (0,73) ikinci önlemdir (Şekil 31). Her bir gemi havuzlanma operasyon risklerin gemi kaptanları ve havuz kaptanları tarafından takip edilmesi operasyonun planlama ve uygulama aşamalarında emniyeti yükseltebilecektir. Ayrıca modül kullanılması ile; havuz kaynaklı (0,94), valf arızası (0,81), gemi kaynaklı (0,80), pompa çalışmaz (0,62) ve takarya problemi (0,34) kaynaklı uygunsuzlukların meydana gelme olasılığı azaltılabilecektir (Şekil 31). Havuz kaynaklı seviyesindeki olumlu etki kısıtlı römorkör kullanımının tamamen (1,0), havuz ırgatı arızası (0,93) ve tel halatın tamburda sıkışması (0,84) azaltılabilecek olmasının bir sonucudur (Şekil 32). Modülün kullanılması, valf arızası seviyesinde valf hidrolik devre kaçağı (0,90), valfe yabancı madde girmesi (0,80) ve kullanım ömrü dolmuş valf (0,70) havuz kaza meydana getiren döngüyü bozabilmektedir (Şekil 32). Önlem 1 gerektiği gibi uygulanabilirse, gecikmeli manevrayı (0,92) etkileyecektir ve buna ek olarak geminin verdiği halatın kesilmesini (0,66) azaltılabilecek olmasıdır (Şekil 32). Pompa çalışmaz seviyesindeki olumlu etki elektrik kaynaklı uygunsuzluk (0,70) ve pompa arızası (0,54) azaltılabilecek olmasıdır (Şekil 32). Modülün en az etkiye sahip olduğu takarya problemleri seviyesinde ise, gemi balast sistemi arızası (0,87), takarya düzeninin bozulması (0,45) ve gemi tarafından draftların yanlış verilmesi (0,13) azaltılabilecek olmasıdır (Şekil 32).

Manevrada yeterlilikli personelin kullanılması (Önlem 7) havuz kazası hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki üçüncü en etkili (0,73) önlemdir (Şekil 31). Yeterlilikli personelin manevrada kullanılması ile gemi havuzlanma operasyonlarında emniyet üst seviyelere çıkabilecektir. Manevrada yeterlilikli personelin kullanılması sırasıyla; gemi kaynaklı (0,95), havuz kaynaklı (0,91), pompa çalışmaz (0,75), takarya problemi (0,54) ve valf arızası (0,29) altında sıralanan uygunsuzlukları azaltılabilecektir. Manevrada yeterlilikli personelin kullanılması ile gemi kaynaklı seviyede geminin verdiği halatın kesilmesi tamamen (1,0) ve gecikmeli manevra (0,88) olumlu etki yapabileceği öngörülmektedir (Şekil 32). Önlem 7 ile kısıtlı römorkör kullanımı ile tel halatın tamburda sıkışması uygunsuzları tamamen (1,0) ve havuz ırgatı arızası (0,65) azaltılarak havuz kazaların önlenmesine olumlu etkisi olabilecektir (Şekil 32). Yeterlilikli personel, pompa arızası (0,75) ve elektrik kaynaklı uygunsuzluk (0,73) azaltılarak havuz kazalarının önlenmesine olumlu etki yapabilecektir (Şekil 32). Manevrada kullanılacak yeterlilikli personel ile gemi balast sistemi arızası (0,75), takarya düzeninin bozulması (0,50), gemi tarafından draftların yanlış verilmesi (0,50) ve gemi resim/plan güncel olmaması (0,37) olumlu etkisiyle havuz kazaların oluşumunda

önemli rol oynayabilecektir (Şekil 32). Önlem 7'nin valf arızası seviyesi altında bulunan valf hidrolik devre kaçağı (1,0) uygunsuzluğunu tamamen önlediği ve valfe yabancı madde girmesi ile kullanım ömrü dolmuş valf uygunsuzluklarını azaltmadığı öngörülmüştür (Şekil 32).

Havuz kaptanlığına özel, sertifikalı eğitim (Önlem 3) havuz kazası hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki dördüncü en etkili (0,60) önlemdir (Şekil 31). Bu eğitim ile havuz kaptanları gemi havuzlanma operasyonlarında havuzlarına özel almış oldukları eğitim ile operasyon sırasında daha etkili öngörüler ile operasyonu yönetebilecek önemli bir beceri kazanabilecektir. Havuz kaptanlığına özel, sertifikalı eğitim neticesinde sırasıyla; gemi kaynaklı (0,79), havuz kaynaklı (0,79), valf arızası (0,54), pompa çalışmaz (0,50) ve takarya problemi (0,31) altındaki uygunsuzluklar azaltılabilecektir (Şekil 31). Uzmanlardan alınacak özel, eğitim geminin verdiği halatın kesilmesi (0,84) ve gecikmeli manevra (0,72) azaltılabileceği öngörülmektedir (Şekil 32). Eğitim almış havuz kaptanı ile tel halatın tamburda sıkışması (0,92), kısıtlı römorkör kullanımı (0,78) ve havuz ırgatı arızası (0,63) azaltılarak havuz kazası oluşumuna katkısı olacağı düşünülmektedir (Şekil 32). Önlem 3, kullanım ömrü dolmuş valf (0,80) ve valf hidrolik devre kaçağı (0,75) olumlu etkisi olacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Havuz kaptanlığına özel, sertifikalı eğitim, pompa arızası (0,58) ve elektrik kaynaklı uygunsuzluk (0,40) azaltılarak havuz kazaları oluşumuna olumlu katkısı olabileceği düşünülmektedir (Şekil 32). Bu önlem ile, gemi balast sistemi arızası (0,50), takarya düzeninin bozulması (0,50) ve gemi resim/plan güncel olmaması (0,37) azaltılarak havuz kazalarının oluşumunda olumlu faydası olabileceği öngörülmektedir (Şekil 32).

Filtrelerin düzenli kontrol edilmesi (Önlem 8) havuz kaza hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki beşinci en etkili önlemdir (Şekil 31). Bu önerinin asıl amacı operasyonlardan kullanılan ekipmanlarının filtrelerinin düzenli bir program ile kontrol edildiğinin takip edilmesidir. Filtrelerin düzenli kontrol edilmesi; valf arızası (0,71), pompa çalışmaz (0,66), havuz kaynaklı (0,62), gemi kaynaklı (0,37) ve takarya problemi (0,29) seviyeleri altındaki uygunsuzlukları olumlu etkileyebilecektir (Şekil 31). Düzenli kontrol edilen filtreler ile valfe yabancı madde girmesi ile valf hidrolik devre kaçağı tamamen (1,0) ortadan kaldırılarak havuz kaza oluşumuna olumlu katkısı olacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Önlem 8 ile pompa arızası (0,92) ve elektrik kaynaklı uygunsuzluk (0,31) azaltılarak havuz kaza oluşumuna katkısı olacağı düşünülmektedir (Şekil 32). Filtrelerin düzenli kontrol edilerek, havuz ırgatı arızası tamamen (1,0) ve tel halatın tamburda sıkışması (0,75) azaltılarak kaza oluşumuna olumlu katkısı olacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Önlem 8'in gecikmeli

manevra (0,40) ve geminin verdiği halatın kesilmesi (0,37) azaltması ile kaza oluşumuna olumlu etkisi olacağı düşünülmektedir. Düzenli kontrol edilen filtreler sayesinde gemi balast sistemi arızası tamamen (1,0) ve takarya düzeninin bozulması (0,32) azaltması ile havuz kaza meydana gelmesinde faydası olacağı öngörülmektedir (Şekil 32).

Halatların emniyetli çalışma yük sınırı içinde kullanılması (Önlem 5) havuz kaza hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki altıncı en etkili önlemdir (Şekil 31). Bu öneriyle manevrada kullanılan halatlara emniyetli çalışma yük sınırlarının aşılmaması hedeflenmektedir. Halatların emniyetli çalışma yük sınırı içinde kullanılması; havuz kaynaklı (0,66), takarya problemi (0,39), pompa çalışmaz (0,31), gemi kaynaklı (0,22) ve valf arızası (0,21) seviyeleri altındaki uygunsuzlukları olumlu etkileyebilecektir (Şekil 31). Halatların emniyetli çalışma yük sınırı içinde kullanılması ile tel halatın tamburda sıkışması (0,92), kısıtlı römorkör kullanımı (0,60) ve havuz ırgat arızası (0,43) azaltılarak havuz kaza oluşumuna olumlu katkısı olacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Emniyetli yük sınırına dikkat edildiğinde takarya düzeninin bozulması (0,85) azaltılarak havuz kaza meydana gelmesini engelleyebileceği düşünülmektedir (Şekil 32). Önlem 5 sayesinde pompa arızası (0,33) ve elektrik kaynaklı uygunsuzluk (0,33) azaltılarak kaza oluşumuna olumlu katkısı olacağı değerlendirilmektedir (Şekil 32). Halatların emniyetli çalışma yük sınırı içinde kullanılmasıyla geminin verdiği halatın kesilmesi (0,50) azaltılarak kaza meydana gelmesine olumlu etkisi olacağı öngörülmektedir (Şekil 32).

Havuzlanma sırasında elektrikçinin hazırda bekletilmesi (Önlem 4) havuz kaza hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki yedinci en etkili önlemdir (Şekil 31). Bu öneriyle gemi havuzlanma operasyonu esnasında olası ekipmanlardaki acil elektrikçi ihtiyacı müdahale süresi minimum tutularak havuz kaza oluşumuna olumlu etki amaçlanmaktadır. Havuzlanma sırasında elektrikçinin hazırda bekletilmesi; pompa çalışmaz (0,80), gemi kaynaklı (0,59), havuz kaynaklı (0,25), valf arızası (0,11) ve takarya problemi (0,05) seviyeleri altındaki uygunsuzlukları olumlu yönde etkileyebilecektir (Şekil 31). Elektrikçinin hazırda beklemesiyle, elektrik kaynaklı uygunsuzluk (1,0) tamamen ve pompa arızası (0,50) azaltılarak havuz kaza oluşumuna olumlu katkı sağlayacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Hazırda bekleyen elektrikçinin olması sayesinde gecikmeli manevra (1,0) tamamen ve geminin verdiği halatın kesilmesi (0,18) azaltılarak kaza meydana gelmesine yönelik olumlu katkısı olacağı değerlendirilmektedir (Şekil 32). Önlem 4 ile tel halatın tamburda sıkışması (0,55) ve havuz ırgatı arızası (0,29) azaltılarak havuz kaza oluşumunda olumlu etkisi olacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Havuzlanma sırasında hazırda bekletin elektrikçi sayesinde

takarya düzeninin bozulması (0,32) azaltılarak havuz kaza meydana gelmesine olumlu katkısı olacağı düşünülmektedir (Şekil 32).

Gemi takaryalara oturmadan önce profesyonel balıkadam ile gözle kontrol edilmesi (Önlem 9) havuz kaza hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki sekizinci en etkili önlemdir (Şekil 31). Bu öneri sayesinde geminin havuza yükünü bindirdiği ilk zaman olan karinasının takaryalara oturmadan önce profesyonel balıkadamlar vasıtasıyla gözle kontrol edilerek olası ilk temas anı uygunsuzluğunun havuz kazası oluşumuna katkısının engellenmesi hedeflenmektedir. Gemi takaryalara oturmadan önce profesyonel balıkadam ile gözle kontrol edilmesi; takarya problemi (0,86), gemi kaynaklı (0,16) ve havuz kaynaklı (0,09) seviyeleri altındaki uygunsuzlukları olumlu yönde etkileyecektir (Şekil 31). Profesyonel balıkadam marifetiyle geminin takaryalara oturmasının gözle kontrol edilmesi ile takarya düzeninin bozulması (1,00) tamamen, gemi tarafından draftların yanlış verilmesi (1,00) tamamen, gemi resim/plan güncel olmaması (1,00) tamamen ve gemi balast sistemi arızası (0,78) azaltılarak kaza meydana gelmesine olumlu etki sağlayacağı değerlendirilmektedir (Şekil 32). Önlem 9 ile geminin verdiği halatın kesilmesi (0,40) azaltılarak kaza oluşuma olumlu etkisi olacağı düşünülmektedir (Şekil 32). Gemi takaryalara oturmadan önce profesyonel balıkadam ile gözle kontrol edilmesi sayesinde tel halatın tamburda sıkışması (0,37) azaltılarak havuz kaza oluşumuna faydalı etkisi olacağı öngörülmektedir (Şekil 32).

Acil durum yedek haberleşme sistemi kurulması (Önlem 6) havuz kaza hata ağacı ana seviyeleri üzerindeki sonuncu öneme sahip önlemdir (Şekil 31). Bu öneri ile gemi havuzlama operasyonu sırasında manevra mahalleri arasındaki ana haberleşme ekipman ve cihazlarının arızalanması veya kullanım dışı kalması neticesinde haberleşmenin devam edilebilmesi için ikincil bir sistemin kurulması hedeflenmektedir. Acil durum yedek haberleşme sistemi kurulması ile gemi kaynaklı (0,57), havuz kaynaklı (0,17), pompa çalışmaz (0,06) ve takarya problemi (0,01) seviyeleri altındaki uygunsuzlukları olumlu etkileyecektir (Şekil 31). Yedeklenen haberleşme sistemi sayesinde geminin verdiği halatın kesilmesi (0,60) ve gecikmeli manevra (0,50) azaltılarak havuz kaza oluşumuna olumlu katkısı olacağı öngörülmektedir (Şekil 32). Önlem 6 ile tel halatın tamburda sıkışması (0,58) azaltılarak havuz kaza meydana gelmesine faydalı etkisi olacağı düşünülmektedir (Şekil 32). Yedek haberleşme sistemi vasıtasıyla elektrik kaynaklı uygunsuzluk (0,17) azaltılarak kaza oluşumuna olumlu etki beklenilmektedir (Şekil 32). Acil durum haberleşme sistemi kurulması ile takarya düzeni bozulması (0,08) azaltılarak havuz kaza meydana gelmesinde olumlu katkısı olacağı değerlendirilmektedir (Şekil 32).

4. SONUÇLAR

IMO, gemi insanlarının emniyeti ve deniz güvenliğinin artırılmasına yönelik birçok kurallar ve düzenlemeler üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Denizde emniyet ve güvenliği arttırmak amacıyla yürürlüğe giren bu kurallar ve düzenlemelere karşın diğer konularda olduğu gibi gemi havuzlanma operasyonlarında da havuz kaza riski var olmaya devam etmektedir. Tehlikeleri ortaya koyarak riskleri değerlendirmek denizde emniyetin ve güvenliği devamlılığı açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada ele alınan havuzlanma operasyonlarında yaşanan sorunlar neticesinde meydana gelen havuz kazaları sonucu, yaralanma veya can kaybı ve maddi kayıplar yaşanmaktadır. Gemi havuzlanma operasyonlarında yüzer havuzlar ve gemiler önemli bir konuma sahip olduklarından havuzlanma operasyonlarında gerçekleşen havuz kazaları yalnızca havuzun ve geminin değil beraberlerinde çevrelerinin de emniyetini doğrudan etkilemektedir.

Havuz kazaları ile ilgili literatür araştırmaları neticesinde, gemi havuzlanma operasyonlarında yaşanan sorunlar ile ilgili yapılan çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Ayriyeten mevcut çalışmalar, havuz kazasına sebep olan faktörlerin incelenmesi gerçekleştirmiş olsa da sadece yüzer havuz yapısal uygunsuzluklar merkezi üzerinde durulmuş ve havuzlanma operasyonun ana faktörleri olan yüzer havuz ve gemi birlikte ele alınmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu gidermek için bu çalışmada gemi havuzlanma operasyonları sırasında yaşanan sorunlar incelenirken FFTA ve ETA'nın birlikte kullanıldığı yaklaşım kullanılmıştır. Ayrıca FFTA yapısına bağlı kalarak ER ile kaza riskindeki değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte elde edilen verilerin olasılık değerleri sonucu analiz yapabilecek kadar detaylı ve nitelikli olmadığından, uzman görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanların kendi alanlarında yeterli deneyimlerine sahip olmalarına karşın, nispeten kişisel veriler olması çalışmanın kısıtlarını meydana getirmektedir. Çalışmanın bir diğer kısıtlaması da FFTA ile havuz kaza sonrası sonuçların ortaya konulamamasıdır. Çalışmadaki bu kısıtlamanın önüne geçmek için ETA yöntemi ile belirli bir havuz kaza sonrası senaryoları üzerinden uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak gemi havuzlanma operasyonları sırasında yaşanan sorunlar neticesinde ortaya çıkacak havuz kazalarını önlemeye yönelik sunulan önlemlerin etkinliği ER yöntemiyle

analitik olarak değerlendirilmiş ve emniyetli havuz operasyonu ortaya konması amaçlanmıştır. Çalışmanın önemli sonuçları şu şekilde aşağıda yer almaktadır.

- Bu çalışmada FFTA ile havuz kazalarının oluşum şeması ortaya konmuştur. Bu şema ile havuz kaza oluşum nedenleri arasındaki ilişkide gözler önüne serilmiştir. Bu şekilde havuz kazaların nasıl bir etkileşim ile meydana geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 19).
- Bu çalışma havuz kazalarının; Geminin yanlış pozisyonu ve havuz stabilitesinin bozulması uygunsuzluklarının birlikte olduklarında meydana geldiği ortaya koymuştur (Şekil 19).
- Çalışmada havuz kazaları FFTA üzerinden incelendiğinde; Anormal haggings/sagging kök nedeni olasılık değeri minimum düzeye indirildiğinde havuz kazası olma olasılığını %46,6 oranında azalttığı, aynı şekilde maksimum düzeye çıkartıldığında ise havuz kazası olma olasılığını %447,8 arttırdığı sonucuna varılmıştır (Şekil 24).
- Havuz kaza sonrasında gelişen olaylar neticesinde; Gemi, havuz ve can/çevre zararı ile sonuçlanabileceği görülmüştür (Şekil 16).
- Havuz kazalarını önlemeye yönelik sunulan önlemlerden en etkilisinin ehil kişiler tarafından zamanında bakım/tutum yapılması olduğu görülmüştür (Şekil 31).
- Havuz kaptanlarının yeterlilik belgeleri ile ilgili yerel mevzuatımızda herhangi bir düzenlemeye rastlanmamıştır.

5. ÖNERİLER

Doktora tezi olarak sunulan bu çalışmada, elde edilen sonuçlar neticesinde havuz kazalarının önüne geçmek ve emniyetli havuz operasyonu için öneriler geliştirilmiştir. Bu tez konusuyla ilgili çalışma yapmayı düşünen araştırmacılara ve uygulayıcılara ulaştırılmak istenilen öneriler aşağıdaki şekildedir:

- Dinamik risk değerlendirme modülünün kullanılması ile çalışmada sunulan havuz kaza hata ağacı yapısının bir risk değerlendirme modülü olarak kullanılmasını önerilmektedir. Bu sayede havuz kaptanları gemilerin havuzlanma operasyonları sırasında yaşanacak olan havuz kaza olasılıklarının değişimini gözlemleyebilecek. Hangi uygunsuzlukların havuz ve gemi için daha büyük bir risk oluşturabileceğinin farkına varacaktır. Hata ağacı gemi havuzlanma operasyonlarında kararların alınması sürecinde karar destek aracı olarak kullanılabilir.
- Havuz kaptanlığına özel, sertifikalı eğitim ile yüzer havuzlarda istihdam edilen havuz kaptanları için çalışmada ortaya konan model üzerinden eğitimlerin planlanıp hazırlanması önerilmektedir. Bu sayede yüzer havuzlarda operasyonlardan sorumlu kişilerin yeterlilikleri hem ulusal mevzuatımızda yer bulacak hem de meydana gelebilecek havuz kazaları için olumlu olabilecektir.
- Gemi havuzlanma operasyonları sırasında takarya düzeninin bozulmaması havuz kazalarının önlenmesi için önem arz etmektedir. Bu sebeple havuzlanacak geminin havuzlanma operasyonu süresince karinasının sualtı lidar kameralar ile sürekli takip edilmesi ile anormal haggings/sagging kaynaklı sebep berteraf edilerek havuz kaza oluşumu olasılığı ortadan kaldıracağı değerlendirilmektedir.
- Gemi havuzlanma operasyonları sırasında yüzer havuzun draft markalarının havuz kaptanı tarafından takip edilebilmesi için havuzun draft ölçer ile donatılması ani draft değişimlerinin kontrol edilmesinde yardımcı olarak kullanılabilir.
- Gemi havuzlanma operasyonları sırasında takarya düzeninin sabit kalması amacıyla havuz zemini üzerinde değişen durumlara uygun olarak takaryaların hareket edebileceği bir raylı sistem ile donatılması ve kontrol odasından takibi için Takarya Monitoring sistemi uygulanması önerilmektedir.

Bu çalışmanın önemli çıktısı ve literatüre olan katkısına bakıldığında, gemi havuzlanma operasyonlarında havuz kazalarının meydana gelişi ve havuz kazası sonrasında oluşabilecek

acil durumları özetleyen papyon modelidir. Papyon modeli, havuz kaptanlarının değişik şartlarda kaza olma olasılığının kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirebilmesine olanak sağlamasının yanısıra oluşabilecek bir havuz kazası durumunda ortaya çıkabilecek sonuçları da değerlendirmeye olanak sağlamasıdır. Modelin kullanılmasıyla havuz kaptanlarının durumsal farkındalığı artarak havuz kazalarının oluşumunun engellenmesi ve gemi havuzlanma operasyonlarında havuz operasyon emniyetinin artırılması hedeflenmektedir.

Deniz emniyetinin devamlılığı için kaza raporları önemli bir yere sahiptir. Yerel ve küresel kuruluşlar tarafından yayımlanan deniz kaza raporları deniz emniyeti ile ilgili çalışmaların esas veri setlerini meydana getirmektedir. IMO tarafından yayımlanan kaza soruşturma sirküleri ve kaza araştırma kodu olmasına karşın taraf ülkeler ve ilgili kuruluşları tarafından kullanılan bir soruşturma yöntemi veya raporlama şablonu daha oluşturulmamıştır. Birkaç ülke en küçük kazayı veya kazaya ramak kala olayı bile en detaylı biçimde rapor haline getirirken, bazı ülkeler ise IMO'ya raporlanması zorunluluğu bulunan ciddi veya çok ciddi kazaları bile olması gerektiği gibi detaylı veya standart formatta bile rapor haline getirmemektedir. Bunun sonucu olarak kaza analiz çalışmaları belirsiz noktaları tanımlayamamaktadır. Bu çalışmanın veri setindeki havuz kazalarının analizi (kök neden ve nedensel faktör tespiti) de havuz kaptanları tarafından titiz bir şekilde yürütülmüş olup altı aylık bir emek sonucu tamamlanabilmiştir. Standardizasyonun olmasıyla birlikte, kazaya sebep olan kök nedenler ve nedensel faktörler resmi raporlarda doğrudan yer alacağından, eksiksize en yakın durumda tespit edilmiş olacaktır. Bu şekilde akademik çalışmalar sonucu üretilen emniyet değerlendirme ve optimizasyon algoritmaları çok daha doğru ve tutarlı sonuçlar gösterebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- ABS. (2022). Rules for Building and Classing Steel Floating Dry Docks. ABS Publications.
- Akhtar, M. J., & Utne, I. B. (2014). Human fatigue's effect on the risk of maritime groundings – A Bayesian Network modeling approach. *Safety Science*, 62, 427-440.
- Al-Shammari, N. F. S. H., & Oh, J.-S. (2018). Effects of human error on marine safety: Case study. *Journal of Engineering Research and Applications*, 8(11 (Part II)), 11-19.
- Alkan, Ö. (2011). *Zamanla değişen sistemlerin bulanık model referans adaptif kontrolü*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Aminravan, F., Sadiq, R., Hoorfar, M., Rodriguez, M. J., & Najjaran, H. (2012). Multicriteria Information Fusion using a Fuzzy Evidential Rule-based Framework. In *2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2012) (Vol. 1, pp. 1890-1895)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Aristo, V. (2012). *Ship construction and risk assessment*. Marincosurvery Yayını.
- Arslan, Ö., & Turan, O. (2009). Analytical investigation of marine casualties at the Strait of Istanbul with SWOT–AHP method. *Maritime Policy & Management*, 36(2), 131-145.
- Atehnjia, D. N. (2018). *Overview of the Safety Operations in a Floating–Graving Dry Docking System*. Department of Marine Engineering, Regional Maritime University, Ghana.
- Bal, E., Arslan, Ö., & Tavacıoğlu, L. (2015). Prioritization of the causal factors of fatigue in seafarers and measurement of fatigue with the application of the Lactate Test. *Safety Science*, 72, 46-54.
- Barlas, B. (2012). Shipyard fatalities in Turkey. *Safety Science*, 50(5), 1247-1252.
- Barlas, B., & Çelebi, U. B. (2014). Occupational accidents in shipbuilding industry. *Naval Architecture and Marine Technology*, 202, 28-39.
- Barlas, B., & İzci, F. B. (2018). Individual and workplace factors related to fatal occupational accidents among shipyard workers in Turkey. *Safety Science*, 101, 173-179.
- Barron, J. J. (1993). Putting Fuzzy Logic Into Focus: When dealing with ambiguous data, desktop fuzzy-logic applications deliver precise results. *Byte*, 18(4), 111-118.
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık: uzman sistemler ve denetleyiciler*. Bıçaklar Kitabevi.
- Bayram, H., Uğur, A. F., & Danıman, K. (2002). *FPGA (Field Programmable Gate Array) Tabanlı Bulanık Kontrolör Tasarımı Ve Bir Uygulama*. ELECO.

- Becht, P. M., & Hetherman, J. R. (2016). *Introduction to Dry Docks*. In J. W. Gaythwaite (Ed.), *Design of marine facilities : engineering and design of port and harbor structures* (Third Edition ed.). ASCE Press.
- Bih, J. (2006). Paradigm shift - an introduction to fuzzy logic. *IEEE Potentials*, 25(1), 6-2.
- Bilici, S., Kamislioglu, M., & Altunsoy Guclu, E. E. (2023). A Monte Carlo simulation study on the evaluation of radiation protection properties of spectacle lens materials. *The European Physical Journal Plus*, 138(1), 1-13.
- Bogalecka, M., & Dąbrowska, E. (2023). Monte Carlo simulation approach to shipping accidents consequences assessment. *Water*, 15(10), 1824.
- Burlacu, E., & Domnisoru, L. (2019). On the Global Strength Analysis of Preliminary Design for Several Floating Dock Types. *Mechanical Testing and Diagnosis*, 9(1), 5-16.
- Burlacu, E., Pacuraru, F., & Domnisoru, L. (2017). On The Development Of Design Software For Floating Dock Units Operating Capabilities Analysis. *Mechanical Testing & Diagnosis*, 7(1), 5-17.
- Cai, B., Liu, Y., Liu, Z., Tian, X., Zhang, Y., & Ji, R. (2013). Application of Bayesian networks in quantitative risk assessment of subsea blowout preventer operations. *Risk Anal*, 33(7), 1293-1311.
- Cai, B., Shao, X., Liu, Y., Kong, X., Wang, H., Xu, H., & Ge, W. (2020). Remaining Useful Life Estimation of Structure Systems Under the Influence of Multiple Causes: Subsea Pipelines as a Case Study. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(7), 5737-5747.
- Carter, T. (2005). Working at sea and psychosocial health problems Report of an International Maritime Health Association Workshop. *Travel Med Infect Dis*, 3(2), 61-65.
- Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accid Anal Prev*, 59, 26-37.
- Chen, J., Shi, C., & Jia, D. (2014). Real-time Risk Assessment for Aids to Navigation Using Fuzzy-FSA on Three-Dimensional Simulation System. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 8(2), 197-203.
- Chen, S.-T., Wall, A., Davies, P., Yang, Z., Wang, J., & 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.
- Cheng, C.-H., Yang, K.-L., & Hwang, C.-L. (1999). Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. *European Journal of Operational Research*, 116, 423-435.

- Chevreau, F. R., Wybo, J. L., & Cauchois, D. (2006). Organizing learning processes on risks by using the bow-tie representation. *J Hazard Mater*, 130(3), 276-283.
- Chou, C.-C., & Chang, P.-L. (2004). Core competence and competitive strategy of the Taiwan shipbuilding industry: a resource-based approach. *Maritime Policy & Management*, 31(2), 125-137.
- Colson, C. (1894). *Notes on docks and dock construction*. Longmans, Green, & Company
- Contini, S., & Matuzas, V. (2011). New methods to determine the importance measures of initiating and enabling events in fault tree analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(7), 775-784.
- Cornick, H. F. (1962). *Dock and harbour engineering (Vol. 4)*. Griffin.
- Crandall, P. S. (1976). Large Floating Dry Docks for Large Ships. *Marine Technology and SNAME News*, 13(02), 184-191.
- Çelik, M., & Çebi, S. (2009). Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 66-75.
- Çelik, M., & Er, İ. D. (2006). Methodology of establishing executive maritime business administration program for maritime transportation industry. *3rd international conference on maritime transport*, İspanya.
- Çelik, M., Er, İ. D., & Ozok, A. F. (2009a). Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 190-198.
- Çelik, M., Kahraman, C., Çebi, S., & Er, İ. D. (2009b). Fuzzy axiomatic design-based performance evaluation model for docking facilities in shipbuilding industry: The case of Turkish shipyards. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 599-615.
- Deacon, T., Amyotte, P. R., Khan, F. I., & MacKinnon, S. (2013). A framework for human error analysis of offshore evacuations. *Safety Science*, 51(1), 319-327.
- Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., & Debray, B. (2006). ARAMIS project: a comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *J Hazard Mater*, 130(3), 200-219.
- Deshpande, A. (2011). Fuzzy fault tree analysis: revisited. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2(1), 3-13.
- Di Maio, F., Baraldi, P., Eslamian, A., Zio, E., & Jacinto, C. M. C. (2022). A dynamic event tree for a blowout accident in an oil deep-water well equipped with a managed pressure drilling condition monitoring and operation system. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 79.
- DNV-GL. (2015). Rules for Classification Floating Docks. DNV Publications.

- Doytchev, D. E., & Szwillus, G. (2009). Combining task analysis and fault tree analysis for accident and incident analysis: a case study from Bulgaria. *Accid Anal Prev*, 41(6), 1172-1179.
- Dymarski, C., & Popek, A. (2005). Preliminary analysis of proposed ship docking systems for a designed floating dock. *Polish Maritime Research(Special)*, 61-64.
- Eleye-Datubo, A. G., Wall, A., Saajedi, A., & Wang, J. (2006). Enabling a powerful marine and offshore decision-support solution through Bayesian network technique. *Risk Anal*, 26(3), 695-721.
- Elidolu, G., Ahn, S. I., Sezer, S. I., Kurt, R. E., Akyuz, E., & Gardoni, P. (2023a). Applying evidential reasoning extended SPAR-H modelling to analyse human reliability on crude oil tanker cargo operation. *Safety Science*, 164.
- Elidolu, G., Sezer, S. I., Akyuz, E., Arslan, O., & Arslanoglu, Y. (2023b). Operational risk assessment of ballasting and de-ballasting on-board tanker ship under FMECA extended Evidential Reasoning (ER) and Rule-based Bayesian Network (RBN) approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 231.
- EMSA. (2022). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2022*. Emsa Publications.
- Ericson, C. A. (2015). *Hazard analysis techniques for system safety*. John Wiley & Sons.
- Ericson, C. A., & Li, C. (1999). Fault tree analysis. *System Safety Conference*, Orlando, Florida,
- Etman, E., & Halawa, A. (2007). Safety culture, the cure for human error: A critique. *Dmitriy Zhukov*, 115, 115-126.
- Eyres, D. J. (2007). *Ship Construction*. Butterworth-Heinemann.
- Fan, S., Blanco-Davis, E., Yang, Z., Zhang, J., & Yan, X. (2020). Incorporation of human factors into maritime accident analysis using a data-driven Bayesian network. *Reliability Engineering & System Safety*, 203, 107070.
- Fang, Q.-G., & Wang, J. (2004). FSA and its applications to the safety of ships. *Navigation of China(1)*, 1-5.
- Felski, A., Naus, K., Świerczyński, S., Wąż, M., & Zwolan, P. (2014). Present Status And Tendencies In Docking Systems' Development. *Annual of Navigation*, 21(1), 35-48.
- Ferdous, R., Khan, F., Sadiq, R., Amyotte, P., & Veitch, B. (2009). Handling data uncertainties in event tree analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 87(5), 283-292.
- Ferdous, R., Khan, F., Sadiq, R., Amyotte, P., & Veitch, B. (2011). Fault and event tree analyses for process systems risk analysis: uncertainty handling formulations. *Risk Anal*, 31(1), 86-107.

- Fontana, D. (2013). Charting the Development of Portsmouth Harbour, Dockyard and Town in the Tudor Period. *Journal of Maritime Archaeology*, 8(2), 263-282.
- Fu, S., Yan, X., Zhang, D., Li, C., & Zio, E. (2016). Framework for the quantitative assessment of the risk of leakage from LNG-fueled vessels by an event tree-CFD. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 43, 42-52.
- Fujino, T., & Hadipriono, F. C. (1996). Fuzzy Fault Tree Analysis for Structural Safety. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 4, 269-280.
- Geweke, J. (1996). *Monte Carlo simulation and numerical integration*. Handbook of computational economics, 1, 731-800.
- Glingler, T., Alfonsi, A., Mandelli, D., Giannetti, F., Caruso, G., & D'Onorio, M. (2023). Dynamic event tree analysis of a severe accident sequence in a boiling water reactor experiencing a cyberattack scenario. *Annals of Nuclear Energy*, 192.
- Grabowski, M., You, Z., Song, H., Wang, H., & Merrick, J. R. W. (2010). Sailing on Friday: Developing the Link Between Safety Culture and Performance in Safety-Critical Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 40(2), 263-284.
- Gürgen, S., Yazır, D., & Konur, O. (2023). Fuzzy fault tree analysis for loss of ship steering ability. *Ocean Engineering*, 279.
- Harren, P. A. (2010). *Safe Operation and Maintenance of Dry Dock Facilities*. American Society of Civil Engineers.
- Hassani, J. J. (1973). *Very large graving docks*.
- Heger, R. E. (2003). Floating dry dock accidents involving transverse bending failure of the ponton. *RINA International Conference: Drydocks, launching & shiplift.*,
- Heger, R. E. (2022). *Dockmaster Training Manual (2022 ed.)*. Heger Dry Dock, Inc.
- Heij, C., Bijwaard, G. E., & Knapp, S. (2011). Ship inspection strategies: Effects on maritime safety and environmental protection. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(1), 42-48.
- Hepburn, R. D. (2003). *History of American Naval Dry Docks: A Key Ingredient to a Maritime Power*. Noesis.
- Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in shipping: the human element. *J Safety Res*, 37(4), 401-411.
- Hollnagel, E. (2008). Risk+barriers=safety? *Safety Science*, 46(2), 221-229.
- Hollnagel, E., & Goteman, O. (2004). The functional resonance accident model. *Proceedings of cognitive system engineering in process plant, 2004*, 155-161.

- Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (2006). *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Ashgate Publishing, Ltd.
- House, D. J. (2016). *Dry Docking and Shipboard Maintenance A Guide for Industry (Second ed.)*. Routledge.
- Hu, L., Kang, R., Pan, X., & Zuo, D. (2020). Risk assessment of uncertain random system—Level-1 and level-2 joint propagation of uncertainty and probability in fault tree analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 198.
- Huang, D., Chen, T., & Wang, M.-J. J. (2001). A fuzzy set approach for event tree analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 118, 153-165.
- Huang, W., Liu, Y., Zhang, Y., Zhang, R., Xu, M., De Dieu, G. J., Antwi, E., & Shuai, B. (2020). Fault Tree and Fuzzy D-S Evidential Reasoning combined approach: An application in railway dangerous goods transportation system accident analysis. *Information Sciences*, 520, 117-129.
- IMO. (2019). Convention on the International Maritime Organization. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Convention-on-the-International-Maritime-Organization.aspx>
- İzci, F. B., Gökyay, O., & Barlas, B. (2022). Investigation of non-fatal occupational accidents and their causes in Turkish shipyards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-8.
- Jafari, M. J., Pouyakian, M., khandymoori, A., & Hanifi, S. M. (2020). Reliability evaluation of fire alarm systems using dynamic Bayesian networks and fuzzy fault tree analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 67.
- Jiang, D., Wu, B., Yang, X., & Van Gelder, P. H. A. J. M. (2019). A fuzzy evidential reasoning based approach for submarine power cable routing selection for offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 193.
- Jiang, Z., Yttervik, R., Gao, Z., & Sandvik, P. C. (2020). Design, modelling, and analysis of a large floating dock for spar floating wind turbine installation. *Marine Structures*, 72.
- Kabir, S. (2017). An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*, 77, 114-135.
- Kar, P., Sahoo, T., & Behera, H. (2019). Effect of Bragg scattering due to bottom undulation on a floating dock. *Wave Motion*, 90, 121-138.
- Kaup, M., Łozowicka, D., & Blatnický, M. (2018). Selected Problems of Ship Safety in the Process of Docking. *New Trends in Production Engineering*, 1(1), 43-49.
- Kaushik, M., & Kumar, M. (2023). An integrated approach of intuitionistic fuzzy fault tree and Bayesian network analysis applicable to risk analysis of ship mooring operations. *Ocean Engineering*, 269.

- Kececi, T., & Arslan, O. (2017). SHARE technique: A novel approach to root cause analysis of ship accidents. *Safety Science*, 96, 1-21.
- Khodabandehloo, K. (1996). Analyses of robot systems using fault and event trees: case studies. *Reliability Engineering & System Safety*, 53, 247-264.
- Kim, M. C. (2024). Comparison of event tree/fault tree and convolution approaches in calculating station blackout risk in a nuclear power plant. *Nuclear Engineering and Technology*, 56(1), 141-146.
- Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic (Vol. 4)*. Prentice hall New Jersey.
- Konaçoğlu, J. (2017). *Bulanık mantık yaklaşımı ile insan kaynakları yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korotaev, V. V., Pantiushin, A. V., Serikova, M. G., & Anisimov, A. G. (2016). Deflection measuring system for floating dry docks. *Ocean Engineering*, 117, 39-44.
- KR. (2015). *Rules and Guidance for the Classification of Floating Docks*.
- Krauss, F. E., & Plude, G. H. (1972). 1,200-Ft Graving Dock. *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*, 98(4), 549-560.
- Kumpun, S., & Ketsakorn, A. (2022). Application of Event Tree Analysis and Analytic Hierarchy Process for Assessing the Risk of Formaldehyde Exposure in the Process of Grinding Wheel. *Trends in Sciences*, 19(10).
- Kuzu, A. C., Akyuz, E., & Arslan, Ö. (2019). Application of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) to maritime industry: A risk analysing of ship mooring operation. *Ocean Engineering*, 179, 128-134.
- Kyburg Jr, H. E. (1987). Bayesian and non-Bayesian evidential updating. *Artificial intelligence*, 31(3), 271-293.
- Lavasani, S. M., Ramzali, N., Sabzalipour, F., & Akyuz, E. (2015). Utilisation of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) for quantified risk analysis of leakage in abandoned oil and natural-gas wells. *Ocean Engineering*, 108, 729-737.
- Lehmann, E. (2002). Die Entwicklung der Schwimmdocks. *Deutsches Schifffahrtsarchiv* (25), 253-268.
- Leung, H. M., Rao Tummala, V. M., & Chuah, K. B. (1998). A knowledge-based system for identifying potential project risks. *Omega*, 26(5), 623-638.
- Li, C., Zhang, H., Zhang, Y., & Kang, J. (2022). Fire risk assessment of a ship's power system under the conditions of an engine room fire. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1658.
- Liang, X., Liang, W., Zhang, L., & Guo, X. (2019). Risk assessment for long-distance gas pipelines in coal mine gobs based on structure entropy weight method and multi-step

backward cloud transformation algorithm based on sampling with replacement. *Journal of Cleaner Production*, 227, 218-228.

- Liu, R., Peng, L., Huang, G., Zhou, X., Yang, Q., & Cai, J. (2023). A Monte Carlo simulation method for probabilistic evaluation of annual energy production of wind farm considering wind flow model and wake effect. *Energy Conversion and Management*, 292, 355.
- Liu, Y., Ma, X., Qiao, W., Luo, H., & He, P. (2022). Human Factor Risk Modeling for Shipyard Operation by Mapping Fuzzy Fault Tree into Bayesian Network. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 297.
- Lower, M., Magott, J., & Skorupski, J. (2016). Analysis of Air Traffic Incidents using event trees with fuzzy probabilities. *Fuzzy Sets and Systems*, 293, 50-79.
- Lowrance, J. D., Garvey, T. D., & Strat, T. M. (2008). *A framework for evidential-reasoning systems*. In *Classic Works of the Dempster-Shafer Theory of Belief Functions* (pp. 419-434). Springer.
- Lu, H.-A., Hsu, Y.-C., & Chu, C.-W. (2018). Evaluation of Ship Repair Services: A Case Study of Taiwan Shipping Companies' Selection. *Transportation Journal*, 57(3), 280-309.
- Macrae, C. (2009). Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions. *Maritime Policy & Management*, 36(1), 21-38.
- Mahmood, N., Butalia, T., Qin, R., & Manasrah, M. (2022). Concurrent events risk assessment generic models with enhanced reliability using Fault tree analysis and expanded rotational fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 197.
- Mareschal, B., Nemery, P., & Ishizaka, A. (2010). Unification of problem formulation with PROMETHEE. *Keynotes and extended abstracts of the OR fifty-two*. The OR Society, Royal Holloway.
- Marsh. (2019). *Marine Cargo Practice P&I Review 2019*. M. J. Specialty.
- Mazurkiewicz, B. K. (1981). *Design and Construction of Dry Docks (First ed.)*. Gulf Publishing Company.
- Millard, C., & Hassani, J. (1971). GRAVING DOCK FOR 300,000-TON SHIPS. *CIVIL ENGINEERING*, 41(6), 71-&.
- Mitchell, T. R., & Larson, J. R. (1987). *People in organizations: An introduction to organizational behavior*.
- Mokhtari, K., Ren, J., Roberts, C., & Wang, J. (2011). Application of a generic bow-tie based risk analysis framework on risk management of sea ports and offshore terminals. *J Hazard Mater*, 192(2), 465-475.
- Mooney, C. Z. (1997). *Monte carlo simulation*. Sage.

- Morra, T. (2011). *The Evolutionary Development of Floating Dry Docks*. East Carolina University. Greenville, NC.
- Mottahedi, A., & Ataei, M. (2019). Fuzzy fault tree analysis for coal burst occurrence probability in underground coal mining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 83, 165-174.
- Mukherjee, S. (2019). Boolean Logic in Fluid Flow. In *Developments in Structural Geology and Tectonics (Vol. 5)*. 273-278. Elsevier.
- Nair, S., Walkinshaw, N., Kelly, T., & de la Vara, J. L. (2015). An evidential reasoning approach for assessing confidence in safety evidence. *2015 IEEE 26th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE)*,
- NAVSEA. (2005). *Docking instructions and routine work in dry dock*. Department of the Navy.
- Nemery, P., Ishizaka, A., Camargo, M., & Morel, L. (2012). Enriching descriptive information in ranking and sorting problems with visualizations techniques. *Journal of Modelling in Management*, 7(2), 130-147.
- Njumo, D. A. (2015). *Application of Formal Safety Assessment for Dry Docking Evolution*, Doctorate, Liverpool John Moores University. Liverpool.
- Njumo, D. A. (2017). Stability Failure Analysis in the Operations of Floating Dry Docks. *International Journal of Maritime Engineering*, 159(A1).
- Norazahar, N., Khan, F., Veitch, B., & MacKinnon, S. (2017). Prioritizing safety critical human and organizational factors of EER systems of offshore installations in a harsh environment. *Safety Science*, 95, 171-181.
- Nwaoha, T. C., Yang, Z., Wang, J., & Bonsall, S. (2011). A new fuzzy evidential reasoning method for risk analysis and control of a liquefied natural gas carrier system. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225(3), 206-225.
- Onisawa, T. (1990). An Application of Fuzzy Concepts to Modelling of Reliability Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 37, 267-286.
- Özdemir, Ü., & Güneröglu, A. (2015). Strategic approach model for investigating the cause of maritime accidents. *PROMET-Traffic&Transportation*, 27(2), 113-123.
- Peeters, J., Basten, R. J., & Tinga, T. (2018). Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. *Reliability Engineering & System Safety*, 172, 36-44.
- Piadeh, F., Ahmadi, M., & Behzadian, K. (2018). Reliability assessment for hybrid systems of advanced treatment units of industrial wastewater reuse using combined event tree and fuzzy fault tree analyses. *Journal of Cleaner Production*, 201, 958-973.

- Qin, J., Xi, Y., & Pedrycz, W. (2020). Failure mode and effects analysis (FMEA) for risk assessment based on interval type-2 fuzzy evidential reasoning method. *Applied Soft Computing*, 89.
- Raiyan, A., Das, S., & Islam, M. R. (2017). Event Tree Analysis of Marine Accidents in Bangladesh. *Procedia Engineering*, 194, 276-283.
- Rajakarunakaran, S., Kumar, A. M., & 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.
- Ramzali, N., Lavasani, M. R. M., & Ghodousi, J. (2015). Safety barriers analysis of offshore drilling system by employing Fuzzy Event Tree Analysis. *Safety Science*, 78, 49-59.
- Rausand, M., & Hoyland, A. (2003). *System reliability theory: models, statistical methods, and applications (Vol. 396)*. John Wiley & Sons.
- Rehler, J. E., & Bottger, G. C. (1964). Dry Docks through Five Centuries. *The Military Engineer*, 56(369), 43-45.
- Ren, J., Jenkinson, I., Sii, H. S., Wang, J., Xu, L., & Yang, J. (2005). An offshore safety assessment framework using fuzzy reasoning and evidential synthesis approaches. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 4(1), 3-16.
- Resmi Gazete (2015).Tersane, Tekne İmal ve Çekmek Yeri Hakkında Yönetmelik. 34-42. Cumhurbaşkanlığı Basımevi 0628.
- Ronza, A., Félez, S., Darbra, R. M., Carol, S., Vílchez, J. A., & Casal, J. (2003). Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 551-560.
- Rosqvist, T., Molarius, R., Virta, H., & Perrels, A. (2013). Event tree analysis for flood protection—An exploratory study in Finland. *Reliability Engineering & System Safety*, 112, 1-7.
- Ross, T. J. (2013). Fuzzy logic with engineering applications. *Magazine And Journal Of Korean Society Of Steel Construction*, 25(4).
- Sadeghi, K., Derki, A., & Shlash, A. (2018). Dry Docks: Overview of Design and Construction. *Academic Research International*, 9(1), 1-11.
- Sarıalioğlu, S., Uğurlu, Ö., Aydın, M., Vardar, B., & Wang, J. (2020). A hybrid model for human-factor analysis of engine-room fires on ships: HFACS-PV&FFTA. *Ocean Engineering*, 217.
- Schroder-Hinrichs, J. U., Baldauf, M., & Ghirxi, K. T. (2011). Accident investigation reporting deficiencies related to organizational factors in machinery space fires and explosions. *Accid Anal Prev*, 43(3), 1187-1196.

- Schröder-Hinrichs, J.-U., Hollnagel, E., & Baldauf, M. (2012). From Titanic to Costa Concordia—a century of lessons not learned. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 11(2), 151-167.
- Schröder-Hinrichs, J.-U., Hollnagel, E., Baldauf, M., Hofmann, S., & Kataria, A. (2013). Maritime human factors and IMO policy. *Maritime Policy & Management*, 40(3), 243-260.
- Sezer, S. I., Akyuz, E., & Gardoni, P. (2023). Prediction of human error probability under Evidential Reasoning extended SLIM approach: The case of tank cleaning in chemical tanker. *Reliability Engineering & System Safety*, 238.
- Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (1997). A Human Error Approach to Accident Investigation: The Taxonomy of Unsafe Operations. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7(4), 269-291.
- Shchedrolosiev, O., Korostylov, L., Klymenkov, S., Uzlov, O., & Kyrychenko, K. (2018). Improvement of the structure of floating docks based on the study into the stressed-deformed state of pontoon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7 (96)), 26-31.
- Shi, L., Shuai, J., & Xu, K. (2014). Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. *J Hazard Mater*, 278, 529-538.
- Singh, B. (2013). *A Guide to Master Dry Dock Operations for Deck Department* (R. Kantharia, Ed. Second Edition ed.). Marine Insight.
- Stasiak, J. (2005). Floatability and stability of floating dock-docked ship system. *Polish Maritime Research (Special)*, 39-45.
- Sugeno, M. (1999). *Fuzzy modeling and control: selected works of M. Sugeno*. cRc Press.
- Sun, J., Wang, H., & Wang, M. (2023). Risk Assessment of Bauxite Maritime Logistics Based on Improved FMECA and Fuzzy Bayesian Network. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(4).
- Sundaresan, G. S., Sandeep Kumar Jain, B., Srikanth, A., & Abdul Shakeel, M. (2017). Naval Architectural Considerations in the Design of Floating Dock. *International Journal of Maritime Engineering*, 159(A2), 175-188.
- Şen, Z. (2020). *Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme*. Su Vakfı.
- Şenol, Y. E. (2024). Assessment of human factor contribution to risk analysis of chemical cargo shortage incidents by using intuitionistic fuzzy integrated fault tree analysis. *Ocean Engineering*, 301.
- Tanaka, H., Fan, L., Lai, F., & Toguchi, K. (1983). Fault-tree analysis by fuzzy probability. *IEEE Transactions on reliability*, 32(5), 453-457.
- Tate, T. N. (1961). *World's largest drydock*. Civil Engineering.

- Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F., & Grande, O. (2008). A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(6), 845-856.
- Tunçel, A. L., Bal Beşikçi, E., Akyuz, E., & Arslan, O. (2023). Safety analysis of fire and explosion (F&E) accidents risk in bulk carrier ships under fuzzy fault tree approach. *Safety Science*, 158.
- Tunçel, A. L., Sezer, S. I., Elidolu, G., Uflaz, E., Akyuz, E., & Arslan, O. (2024). A rule-based Bayesian network modelling under evidential reasoning theory for risk analysis of anchoring operation in maritime transportation. *Ocean Engineering*, 292.
- Tupper, E. C. (2013). *Introduction to naval architecture (Fifth Edition ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- Tupper, E. C., & Rawson, K. (2001). *Basic ship theory (Fifth edition ed., Vol. 1)*. Butterworth-Heinemann.
- Uflaz, E., Akyuz, E., Arslan, O., Gardoni, P., Turan, O., & Aydin, M. (2023). Analysing human error contribution to ship collision risk in congested waters under the evidential reasoning SPAR-H extended fault tree analysis. *Ocean Engineering*, 287.
- Uğurlu, Ö. (2016). Analysis of fire and explosion accidents occurring in tankers transporting hazardous cargoes. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 55, 1-11.
- Uğurlu, Ö., Erol, S., & Başar, E. (2015). The Analysis of Life Safety and Economic Loss in Marine Accidents Occurring in the Turkish Straits. *Maritime Policy & Management*, 43(3), 356-370.
- Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U., & Yüksekıldız, E. (2013). Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method. *Maritime Policy & Management*, 42(2), 163-185.
- Uğurlu, Ö., Yıldız, S., Loughney, S., Wang, J., Kuntchulia, S., & Sharabidze, I. (2020). Analyzing Collision, Grounding, and Sinking Accidents Occurring in the Black Sea Utilizing HFACS and Bayesian Networks. *Risk Analysis*, 40(12), 2610-2638.
- Uluscu, O. S., Ozbas, B., Altıok, T., & Or, I. (2009). Risk analysis of the vessel traffic in the strait of istanbul. *Risk Anal*, 29(10), 1454-1472.
- URL-1. (2022, Mart 17). Gemi-Yat Sektör Raporu. İhracat Genel Müdürlüğü. <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Gemi%20%C4%B0n%C5%9Fa%20Sanayii%20Sekt%C3%B6r%20Notu%202023.pdf> adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2024, Ocak 1). Gemi İnşa, Bakım-Onarım Sektörü 2021-2022 Yılları İstatistiksel Verileri. <https://gisbir.org/wp-content/uploads/sektor-raporu-yeni-baski-2021-2022.pdf> adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2023, Mart 17). Tersane Kapasitesi. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <https://tkygmistatistikleri.uab.gov.tr/2023-yili-tersane-kapasitesi> adresinden alınmıştır.

- URL-4. (2024, Ocak 1). Gemi İnşa Sanayinde İstihdam Edilen İşçi Sayısı. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <https://tkygmistatistikleri.uab.gov.tr/gemi-insa-sanayi-istihdami> adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2023, Mart 17). Bakım Onarım Miktarı. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <https://tkygmistatistikleri.uab.gov.tr/tersanelerimizdeki-bakim-onarim-miktari> adresinden alınmıştır.
- URL-6. (2023, Haziran 15). Gemi ve Su Araçları Dış Ticareti. Tersane ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü. <https://tkygmistatistikleri.uab.gov.tr/2023-gemi-ve-su-araclari> adresinden alınmıştır.
- URL-7. (2024, Ocak 1). 2024 Yılı Tersane Sayısı. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <https://tkygmistatistikleri.uab.gov.tr/tersane-sayisi-2023> adresinden alınmıştır.
- URL-8. (2023, Mayıs 25). İzinli Yüzer-Kuru Havuzlara Ait Bilgiler. Kıyı Yapıları Daire Başkanlığı. <https://tkygm.uab.gov.tr/uploads/pages/kiyi-yapilari-daire-baskanligi/izinliyuzer.pdf> adresinden alınmıştır.
- Vaurio, J. K. (2001). Making systems with mutually exclusive events analysable by standard fault tree analysis tools. *Reliability Engineering & System Safety*, 74, 75-80.
- Veljanovski, N., & Čepin, M. (2024). Event tree-based risk and financial assessment for power plants. *Reliability Engineering & System Safety*.
- Ventikos, N. P., & Psaraftis, H. N. (2004). Spill accident modeling: a critical survey of the event-decision network in the context of IMO's formal safety assessment. *J Hazard Mater*, 107(1-2), 59-66.
- Vidal, L.-A., Marle, F., & Bocquet, J.-C. (2011). Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5388-5405.
- Wang, D., Zhang, P., & Chen, L. (2013). Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 1390-1398.
- Wang, J. (2001). The current status and future aspects in formal ship safety assessment. *Safety Science*, 38(1), 19-30.
- Wang, Y. F., Xie, M., Chin, K.-S., & 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), 10-21.
- Ward, G. D. (2000). *The National Shipbuilding Research Program, Cost Effective Enclosure of Surface Preparation and Coatings in Floating Dry Docks*. Heger Publication.
- Wasalaski, R. G. (1982). Safety of Floating Drydocks in Accordance With MIL-STD-1625A. *Naval Engineers Journal*, 94(5), 75-84.
- Watson, D. G. M. (2002). *Practical ship design (Vol. 1)*. Elsevier Science.

- Wu, Q., Fang, J., Zeng, J., Wen, J., & Luo, F. (2023). Monte Carlo simulation-based robust workflow scheduling for spot instances in cloud environments. *Tsinghua Science and Technology*, 29(1), 112-126.
- Xiaowei, X., Xinlian, X., Wei, P., & Yukuan, W. (2024). A hybrid method for the capability evaluation of a far-sea naval ship repair and maintenance system based on binary semantic information and the evidential reasoning approach. *Expert Systems with Applications*, 248.
- Xu, D. L., & Yang, J. B. (2003). Intelligent decision system for self-assessment. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12(1), 43-60.
- Xu, L., & Yang, J.-B. (2001). *Introduction to multi-criteria decision making and the evidential reasoning approach (Vol. 106)*. Manchester School of Management Manchester.
- Yang, G., Liang, H., & Wu, C. (2013). Deflection and inclination measuring system for floating dock based on wireless networks. *Ocean Engineering*, 69, 1-8.
- Yang, X., Yan, L., & Zeng, L. (2013). How to handle uncertainties in AHP: The Cloud Delphi hierarchical analysis. *Information Sciences*, 222, 384-404.
- Yavuz, K. (2012). *Tersanelerde kazaların önlenmesi ve iş güvenliği: Tuzla tersaneleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Yen, J. (2008). *Generalizing the dempster-shafer theory to fuzzy sets. In Classic works of the Dempster-Shafer theory of belief functions*. Springer.
- Yıldırım, U., Uğurlu, Ö., & Başar, E. (2015). Karaya Oturma Kazalarında İnsan Hatası: Konteyner Gemileri için Örnek Çalışma. *Journal of ETA Maritime Science*, 3(1), 1-10
- Yıldız, A. (2008). Türkiye'de Tersanelerin Tarihi ve Gemi İnşa Sanayisinin Gelişimi. *Mühendis ve Makina*, 578(49), 23-47.
- Yıldız, S., Uğurlu, Ö., Wang, J., & Loughney, S. (2021). Application of the HFACS-PV approach for identification of human and organizational factors (HOFs) influencing marine accidents. *Reliability Engineering & System Safety*, 208.
- Yu, Q., Teixeira, Â. P., Liu, K., Rong, H., & Guedes Soares, C. (2021). An integrated dynamic ship risk model based on Bayesian Networks and Evidential Reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 216.
- Yuhua, D., & 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.
- Zarei, E., Yazdi, M., Abbassi, R., & Khan, F. (2019). A hybrid model for human factor analysis in process accidents: FBN-HFACS. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 57, 142-155.

- Zhang, H., Wang, T., Ding, Z., Zhang, X., & Han, L. (2020). Uncertainty analysis of impact factors of eco-environmental vulnerability based on cloud theory. *Ecological Indicators*, 110.
- Zhang, H., Zheng, Y., Zhou, D., & Long, X. (2018). Selection of key technology policies for Chinese offshore wind power: A perspective on patent maps. *Marine Policy*, 93, 47-53.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet YAHŞİ, İlköğrenimini İstiklal ilköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 1998 yılında Dr. Binnaz Ege Dr. Rıdvan Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Deniz Ulaştırma ve İşletme bölümünde lisans eğitimine başladı ve 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. 2012-2013 yılı bahar dönemi itibariyle Ordu Üniversitesi, Fatsa Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Deniz Ulaştırma İşletme Programında öğretim görevlisi olarak işe ve Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2015 yılında "Türk Bayraklı Gemilerin Gemiadamları Donatımında Yer Alan Asgari İlkelerin İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezini sunmasının ardından doktora eğitimine başladı. 2016-2017 yılı bahar döneminden itibaren Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Deniz Ulaştırma İşletme Programından öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.