

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEMİ TUTUKLANMALARININ FTA VE FMEA HİBRİT YÖNTEMLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hürol HOCEK

KASIM 2025
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEMİ TUTUKLANMALARININ FTA VE FMEA HİBRİT YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Hürol HOCEK

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 10 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 21 / 11 / 2025

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Devran YAZIR

ORCID : - - -

Trabzon 2025

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalında
Hürol HOCEK Tarafından Hazırlanan**

GEMİ TUTUKLANMALARININ FTA VE FMEA HİBRİT YÖNTEMLE İNCELENMESİ

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 23 / 10 / 2025 gün ve 2125 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Muhammet BORAN

Üye : Prof. Dr. Ünal ÖZDEMİR

Üye : Doç. Dr. Devran YAZIR

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

ÖNSÖZ

“Gemi Tutuklanmalarının FTA ve FMEA Hibrit Yöntemle İncelenmesi” isimli bu yüksek lisans tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Akademisyenlik yolculuğumun ilk adımlarından itibaren beni cesaretlendiren, her aşamada desteğini esirgemeyen ve tez çalışmam süresince bilgi, tecrübe ve yol göstericiliğiyle rehberlik eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Devran YAZIR’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamında yürütülen anket sürecine katkıda bulunarak değerli görüş ve deneyimlerini paylaşan tüm hocalarıma ve meslektaşlarıma; ayrıca tez süreci boyunca desteklerini esirgemeyen Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü’ndeki tüm değerli hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, bugünlere gelmemde en büyük desteği sağlayan, maddi ve manevi her daim yanımda olan sevgili aileme şükranlarımı sunarım. Özellikle bu süreçte sabrı, sevgisi ve anlayışıyla bana güç veren; her zorluğu paylaşarak bu yolculuğu benimle birlikte omuzlayan ve bu çalışmayı tamamlamamda en önemli ilham kaynağım olan değerli eşime en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Hürol HOCEK

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Gemi Tutuklanmalarının FTA ve FMEA Hibrit Yöntemle İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Devran YAZIR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili programlarda 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. 21/11/2025

Hürol HOCEK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Liman Devleti Denetiminde Mutabakat Zaptlarının Rolü	1
1.2. Bölgesel Denetim Sisteminin Küresel Entegrasyonu.....	4
1.3. Liman Devleti Denetim Süreçleri.....	6
1.4. Liman Devleti Denetiminin Sonuçları	7
1.5. Gemi Tutuklanmalarının Literatür Analizi.....	8
1.5.1. Gemi Tutuklanmalarında FTA.....	11
1.5.2. Gemi Tutuklanmalarında Hata Türü ve Etki Analizi.....	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	14
2.1. Hata Ağacı Analizi Metodu.....	15
2.2. Hata Türü ve Etki Analizi Metodu	21
2.3. Bulanık Mantık Yaklaşımı	28
2.3.1. Kural Tabanlı Geliştirme	31
2.3.2. Girdilerin Dönüşümü	31
2.3.3. Kuralların Değerlendirilmesi	31
2.3.4. Kural Çıktılarının Birleştirilmesi	32
2.3.5. Durulaştırma.....	32
2.4. Hata Ağacı Analizi Uygulaması.....	33
2.4.1. Hata Ağacının Oluşturulması.....	33
2.4.2. Temel Olayların Olasılıklarının Bulunması.....	41
2.4.3. Nicel ve Nitel Analizlerin Uygulanması.....	42
2.5. Hata Modu ve Etki Analizi Uygulaması	46

3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
3.1. Hata Ağacı Analizi Sonuçları.....	56
3.2. Hata Türü ve Etki Analizi Sonuçları	61
3.3. Karşılaştırmalı Sonuçlar	61
4. SONUÇLAR.....	66
5. ÖNERİLER.....	68
6. KAYNAKLAR	70
7. EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GEMİ TUTUKLANMALARININ FTA VE FMEA HİBRİT YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Hürol HOCEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Devran YAZIR
2025, 75 Sayfa, 8 Ek Sayfa

Liman Devleti Denetimi (PSC), liman devletlerinin uluslararası denizcilik anlaşmalarına uygunluğu sağlamak için yabancı bandıralı gemileri sistematik olarak denetlemesidir. Bu çalışma, PSC denetimleri sırasında gemilerin alıkonulmasına neden olan temel eksiklikleri belirlemek ve önceliklendirmek amacıyla Hata Ağacı Analizi (FTA) ile Hata Türü ve Etkileri Analizini (FMEA) bütünleşik olarak kullanmaktadır. Dört bölgesel mutabakat zaptı veri tabanından (Paris MoU, Tokyo MoU, Akdeniz MoU ve Hint Okyanusu MoU) elde edilen veriler ile Ocak ve Temmuz 2023 tarihleri arasında alıkonulan 1.213 gemi sistematik olarak analiz edilmiştir. Gemilerde tespit edilen eksikliklerin olasılıklarını tespit etmek için FTA metodu kullanılırken, bulanık FMEA metodu, eksikliklerin önceliklendirilmesinin güvenilirliğini artırmak için şiddet ve tespit edilemezlik parametrelerini dahil etmiştir. Bulgular yangın güvenliği eksikliklerinin gemilerin alıkonulmasına neden olan en önemli eksiklikler olduğunu ortaya koymuştur. Hibrit FTA-FMEA yaklaşımı, yöntemlerin doğasında bulunan sınırlamaları ele alarak gelişmiş analitik derinlik sunmaktadır. Bununla birlikte, veri kapsamının dört MoU ile sınırlı kalması ve uzman değerlendirmelerinin doğasında var olan öznellik gibi sınırlamalar kabul edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Liman devleti denetimi, Gemi tutuklanması, Bütünleşik FTA ve FMEA, Deniz emniyeti

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSING OF SHIP DETENTIONS BY FTA AND FMEA HYBRID METHOD

Hürol HOCEK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Maritime Transportation Management Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Devran YAZIR
2025, 75 Pages, 8 Appendix Pages

Port State Control (PSC) is the systematic inspection of foreign-flagged ships by port states to ensure compliance with international maritime conventions. This study integrates Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to identify and prioritise the fundamental deficiencies that lead to the detention of ships during PSC inspections. A comprehensive analysis of data from four regional memorandum of understanding (MoU) databases (Paris MoU, Tokyo MoU, Mediterranean MoU and Indian Ocean MoU) was conducted for 1.213 ships detained between January and July 2023. The FTA method was employed to determine the probabilities of deficiencies, while the fuzzy FMEA method incorporated severity and non-detectability parameters to enhance the reliability of deficiency prioritisation. The findings revealed that fire safety deficiencies were the most significant deficiencies leading to the detention of ships. The integrated FTA-FMEA method offers enhanced analytical depth by addressing the inherent limitations of the methods. However, it should be noted that limitations such as data coverage being limited to four MoUs and the inherent subjectivity of expert judgements are recognised.

Key Words: Port state control, Ship detention, Integrated FTA and FMEA, Maritime safety

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çalışmanın şematik akışı.....	15
Şekil 2. Hata ağacı analizinin şematik akışı	16
Şekil 3. Hata ağacı analizi sembolleri	17
Şekil 4. Hata türü ve etki analizi metodu akış şeması	22
Şekil 5. Üçgen üyelik fonksiyonu	29
Şekil 6. Hata ağacı yapısı	39
Şekil 7. Bulanık mantık tasarım kutusu.....	51
Şekil 8. Oluşum için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu.....	51
Şekil 9. Şiddet için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu	52
Şekil 10. Tespit edilemezlik için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu.....	52
Şekil 11. RÖS sayısı için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu.....	53
Şekil 12. Bulanık mantık kuralları.....	54
Şekil 13. Kural yüzey görünümü.....	55
Şekil 14. En yüksek 10 temel olay olasılığı.....	57
Şekil 15. En yüksek 10 önem analizi sonucu	58
Şekil 16. Ara olay olasılıkları	59
Şekil 17. Ara olayların önem analizleri	60

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Mutabakat zaptları.....	2
Tablo 2. Mutabakat zaptlarının referans sözleşmeleri.....	3
Tablo 3. Farklı mutabakat zaptlarına taraf ülkeler	4
Tablo 4. FTA metodu kullanılarak yapılan çalışmalar	12
Tablo 5. FMEA metodu kullanılarak yapılan çalışmalar	12
Tablo 6. Oluşum (O) seviyeleri	23
Tablo 7. Şiddet (S) seviyeleri	24
Tablo 8. Tespit edilemezlik (D) seviyeleri	24
Tablo 9. Üst, ara ve temel olayların kısaltması ve açıklamaları.....	34
Tablo 10. Olayların olasılıkları, frekansları, önem analizleri sonuçları	42
Tablo 11. Oluşum değerlerine karşılık gelen olasılık değerleri.....	46
Tablo 12. Güvenirlik analizi sonuçları	48
Tablo 13. Uzman profilleri	48
Tablo 14. Uzman görüşlerinin sayısal karşılıkları.....	49
Tablo 15. Girdi dilsel ifadelerine karşılık gelen bulanık sayılar	50
Tablo 16. Çıktı dilsel ifadelerine karşılık gelen bulanık sayılar.....	50
Tablo 17. Ara olayların risk öncelik sayıları	61
Tablo 18. Yönteme göre risk önceliklendirilmeleri	62

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_i	: Minimum i kümesi
N_c	: Minimum kesim kümelerinin sayısı
$\mu_A(x)$	: Üyelik fonksiyonu
N	: Temel olay sayısı
w	: Frekans
Q	: Olasılık
$Q(T)$	: T olayının meydana gelme olasılığı
i	: Bağlı temel olay sayısı
BE	: Temel olay
CIC	: Yoğunlaştırılmış Denetim Kampanyaları
EPIRB	: Acil durum lokasyon belirten radyo vericisi
FMEA	: Hata türü ve etkileri analizi
FSS	: Yangın güvenlik sistemleri
FTA	: Hata ağacı analizi
GMDSS	: Küresel Denizcilik Tehlike ve Güvenlik Sistemi
HF	: Yüksek frekans
IMO	: Uluslararası denizcilik örgütü
ISM	: Uluslararası emniyetli yönetim sistemi
MARPOL	: Denizlerin gemilerden kirlenmesini önleme uluslararası sözleşmesi
MCS	: Minimum kesim kümesi
MF	: Orta frekans
MoU	: Mutabakat zaptı
PSC	: Liman devleti denetimi
RÖS	: Risk öncelik sayısı
SART	: Arama ve kurtarma alıcı-vericisi
SOLAS	: Denizde can emniyeti
TE	: Tepe olay
VHF	: Çok yüksek frekans

1. GENEL BİLGİLER

Deniz taşımacılığı, yüksek taşıma kapasitesi ve maliyet verimliliği ile diğer taşımacılık modlarından belirgin bir şekilde ayrılmakta olup küresel ticaret hacminin yaklaşık %80-90'ını karşılamaktadır (Zhu vd., 2023). Deniz taşımacılığının büyük ticaret hacmi, deniz kazalarının artmasına ve tarih boyunca çevreye, insan hayatına ve mallara yönelik ciddi risklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle tehlikeli yük taşıyan gemilerin karıştığı kazalar, deniz ekosisteminde telafisi güç çevre felaketlerine yol açarken yaşanan gemi ve yük kayıpları da küresel tedarik zincirini olumsuz etkilemektedir. Bu durum hem ekonomik kayıpları minimize etmek hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak adına risk yönetimini kritik bir hale getirmektedir (Fan vd., 2022).

Gemilerin emniyet ve güvenliğinin sorumluluğu 1978'deki Amoco Cadiz faciasına kadar yalnızca bayrak devletine ait iken bu felaketin ardından, deniz emniyetinin sağlanması için yalnızca bayrak devletlerine güvenmenin yetersizliği gün ışığına çıkmıştır (Piniella vd., 2014). Bayrak devletleri dünya genelinde sefer yapan ve bayrağını taşıyan tüm gemileri denetimlere tabi tutmakta yetersiz kalmakta ve gemilerde emniyet açıklarına yol açmaktaydı.

Gemilerin denetim eksikliğinin oluşturduğu risklerin giderilebilmesi için uluslararası sözleşmelere, bölgesel anlaşmalara ve ulusal düzenlemelere uyumu sağlamayı amaçlayan bir mekanizma olarak liman devleti kontrolü (PSC) uygulamaya konulmuştur. Liman devleti kontrol (PSC) mekanizması, özellikle bayrak devletlerinin gerçekleştirdiği denetimlerin, standart altı gemileri sektörden çıkarmadaki yetersizliğini kapatmak amacıyla ek bir güvenlik katmanı oluşturmak ve bayrak devletlerinin mevcut düzenlemelerini tamamlamak amacıyla geliştirilmiştir (Chen vd., 2019; Yan ve Wang, 2022). Geliştirilen mekanizma ile gemilerin belirlenen güvenlik standartlarını karşılaması sağlanarak çevre kirliliği ve deniz kazalarına karşı önleyici bir tedbir işlevi görmesi amaçlanmıştır (Zhu vd., 2023).

1.1. Liman Devleti Denetiminde Mutabakat Zaptlarının Rolü

Amoco Cadiz faciasının ardından, 1982 yılında 13 Avrupa ülkesi bir araya gelerek Paris Mutabakat Zaptı'nı (Paris MoU) oluşturmuş ve böylelikle ilk bölgesel PSC organizasyonunu duyurmuşlardır (Chen vd., 2019). Paris Mutabakat Zaptı'nın amacı, uluslararası denizcilik ve çevre emniyeti standartlarına uyumu güçlendirmek ve ilgili ülkeler

arasında tutarlı denetim kriterlerinin uygulamasını sağlamaktır (URL-3, 2025). Paris MoU'nun elde ettiği başarı, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO), Kasım 1991'de A.682 (17) sayılı kararda belirtildiği üzere standart altı gemilerin denizlerden menedilebilmesi için bölgesel PSC rejimlerinin kurulmasını tavsiye etmesi ile desteklenmiştir (Şanlıer, 2020). Bu gelişme ve IMO'nun teşvikiyle Tokyo Mutabakat Zaptı (Tokyo MoU) Kasım 1993'te Asya-Pasifik Bölgesi'ndeki denizcilik otoriteleri tarafından kabul edilmiştir (Chen vd., 2019). Takip eden yıllarda Paris ve Tokyo Mutabakat Zaptı örnek alınarak birçok farklı denizcilik otoritesinin katılımı ile Viña del Mar Anlaşması (1992), Karayipler MoU (1996), Akdeniz MoU (1997) gibi farklı mutabakat zaptı oluşturulmuştur. Sonuç olarak ulusal ve uluslararası model olmak üzere iki farklı model olarak ortaya çıkan mutabakat zaptlarının sayısı Tablo 1'de sunulduğu gibi 9 bölgesel ve 1 ulusal olmak üzere dünya genelinde 10'a, toplam katılımcı denizcilik otoritesi sayısı ise 203'e ulaşmıştır.

Tablo 1. Mutabakat zaptları

Mutabakat Zaptları	
Avrupa ve Kuzey Atlantik Mutabakat Zaptı (Paris MoU)	Asya ve Pasifik Mutabakat Zaptı (Tokyo MoU)
Latin Amerika Anlaşması (Viña del Mar Anlaşması)	Karayipler Mutabakat Zaptı (Karayipler MoU)
Batı ve Orta Afrika Mutabakat Zaptı (Abuja MoU)	Karadeniz Bölgesi Mutabakat Zaptı (Karadeniz MoU)
Akdeniz Mutabakat Zaptı (Akdeniz MoU)	Hint Okyanusu Mutabakat Zaptı (Hint Okyanusu MoU)
Riyad Mutabakat Zaptı (Riyadh MoU)	Birleşik Devletler Sahil Güvenliği (USCG)

PSC'lerin temel amacı, uluslararası sözleşmeler kapsamındaki yükümlülüklerini yerine getirmeyen standart altı gemileri tespit ederek deniz ve çevrenin korunmasını sağlamaktır (Tsou, 2019). Ancak PSC denetimleri tüm MoU bölgelerinde aynı uluslararası sözleşmeler referans alınarak yürütülmemektedir. Referans olarak kabul edilen sözleşmelerin veya anlaşmaların belirlenmesinde MoU'ların üye ülkelerinin taraf olduğu

sözleşmeler büyük önem arz etmektedir. Bu referans sözleşmeler arasındaki farklılıklar PSC denetimlerinin yapıldığı bölgeye göre gemilerin alıkonulma nedenlerinin değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu referans sözleşmelerdeki farklılıkların bölgesel MoU'ların küresel bir anlaşmaya dönüşmesinin önündeki en büyük engellerden biri olduğu çıkarımında bulunulabilir. Çalışmanın veri seti, eksikliklerin alıkonulmaya yol açıp açmadığını sınıflandırmadaki başarıları ve veri tabanlarının erişilebilirliği dikkate alınarak Paris MoU, Tokyo MoU, Hint Okyanusu MoU, Akdeniz MoU'larına dayandırılmış olup bu mutabakat zaptlarının referans sözleşmeleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Mutabakat zaptlarının referans sözleşmeleri

	Paris MoU	Tokyo MoU	Hint Okyanusu MoU	Akdeniz MoU
LOAD LINES 66	✓	✓	✓	✓
LL PROT 88	✓	✓	-	✓
SOLAS 74	✓	✓	✓	✓
SOLAS PROT 78	-	✓	-	-
SOLAS PROT 88	✓	✓	-	✓
MARPOL	✓	✓	✓	✓
STCW 78	✓	✓	✓	✓
COLREG 72	✓	✓	✓	✓
TONNAGE 69	✓	✓	✓	✓
MLC, 2006	✓	✓	✓	✓
ILO 147	-	✓	✓	✓
CLC PROT 1992	✓	✓	✓	✓
AFS2001	✓	✓	✓	✓
BUNKER 2001	✓	✓	✓	✓
BWM 2004	✓	✓	✓	✓
Nairobi WRC 2007	✓	-	-	✓
Cape Town Agreement	-	-	✓	-

1.2. Bölgesel Denetim Sisteminin Küresel Entegrasyonu

IMO, küresel ölçekte deniz güvenliği ve çevre koruması konularında uluslararası standartlar belirlemekte ve üye devletlerin bu standartlara uymasını teşvik etmektedir. Ancak IMO'nun denetim mekanizmaları büyük ölçüde üye devletlerin kendi kendini denetlemesine dayanmaktadır ve merkezi bir küresel denetim sistemi mevcut değildir. Akademik literatürde bölgesel denetim sistemleri olan mutabakat zaptlarına paralel küresel bir denetim sistemi oluşturulmasına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut denetim sistemi bölgesel anlaşmalar çerçevesinde organize edilen mutabakat zaptlarından oluşmakta ve her bölge kendi özgün denetim mekanizmalarını uygulamaktadır. Örneğin, Paris MoU, Avrupa ve Kuzey Atlantik bölgesindeki liman devleti denetimlerini kapsarken Akdeniz MoU, yalnızca Akdeniz'e kıyısı olan ülkeleri içermektedir. Bölgesel Mutabakat Zaptları (MoU), deniz güvenliği ve çevre korumasını sağlamak amacıyla üye ülkeler tarafından benimsenen uluslararası sözleşmelere dayanarak özgün denetim prosedürleri ve risk değerlendirme kriterleri oluşturmuştur.

Mevcut bölgesel denetim sistemleri birbirinden bağımsız şekilde işlese de birden fazla MoU'ya taraf olan devletlerin varlığı da bu sistemlerin birlikte çalışabilirliği açısından önemli bir emsal teşkil etmektedir. Tablo 3'te gösterildiği üzere Avustralya, Fransa, Malta, Meksika, Romanya, Rusya ve Türkiye gibi ülkeler aynı anda birden fazla mutabakat zaptına taraf olarak ilgili mutabakatlar kapsamında liman devleti denetimlerini yürütmektedir (Turhan, 2024). Bu durum farklı MoU'lar arasındaki koordinasyonun sağlanabileceğini ve çoklu üyeliğin denetim sürecini engellemek yerine destekleyici bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Bu uygulama küresel ölçekte daha bütünleşik bir denetim sistemine geçişin mümkün olabileceğine dair somut bir emsal sunmaktadır.

Tablo 3. Farklı mutabakat zaptlarına taraf ülkeler

Ülke Adı	Mutabakat Zaptları		
Avusturalya	Hint Okyanusu MoU	Tokyo MoU	
Bulgaristan	Karadeniz MoU	Paris MoU	
Fransa	Karayipler MoU	Hint Okyanusu MoU	Paris MoU

Tablo 3'ün devamı

Güney Afrika	Abuja MoU	Hint Okyanusu MoU	
Hırvatistan	Akdeniz MoU	Paris MoU	
Hollanda	Karayıpler MoU	Paris MoU	
Kanada	Paris MoU	Tokyo MoU	
Kıbrıs (GKRY)	Akdeniz MoU	Paris MoU	
Küba	Karayıpler MoU	Viña del Mar MoU	
Malta	Akdeniz MoU	Paris MoU	
Meksika	Tokyo MoU	Viña del Mar MoU	
Panama	Tokyo MoU	Viña del Mar MoU	
Peru	Tokyo MoU	Viña del Mar MoU	
Romanya	Karadeniz MoU	Paris MoU	
Rusya	Karadeniz MoU	Paris MoU	Tokyo MoU
Türkiye	Karadeniz MoU	Akdeniz MoU	
Birleşik Krallık	Paris MoU	Karayıpler MoU	

Mevcut bölgesel denetim sistemleri uluslararası iş birliği ve bilgi paylaşımı konusunda değerli deneyimler sunmakla birlikte belirli sınırlılıkları da içermektedir. Artan küreselleşme tedarik zincirlerinin giderek karmaşıklaşması, uluslararası ticaretin büyümesi ve sürdürülebilirlik çalışmalarının artması, uluslararası düzeyde riskleri minimize eden daha etkili bir denetim mekanizmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tablo 2’de görüleceği üzere farklı mutabakat zaptları tarafından referans alınan sözleşmelerin çeşitliliği ve ayrıca uygulamadaki farklılıklar denetim düzenlemeleri ve uluslararası ticarete belirsizliklere ve uyum sorunlarına yol açmaktadır. Bu nedenler ile denetim mekanizması olarak daha tutarlı ve karşılaştırılabilir bir sistem ihtiyacını ortaya çıkmaktadır.

Giderek önem kazanan küresel denetim sistemine geçişin önündeki başlıca engeller olarak şunlar sıralanabilir; ülkelerin ulusal egemenliklerini ve denetim yetkilerini uluslararası bir yapı çerçevesinde yürütmeleri konusunda çekinceler, ülkeler arasındaki siyasi rekabet ve ekonomik çıkarlar, küresel denetim standartlarının belirlenmesi ve uygulanması sürecinde yaşanacak zorluklar, küresel denetim sisteminin etkin bir şekilde uygulanması ve izlenmesinde karşılaşılabilecek sorunların çözümü ile mutabakat zaptlarının

referans sözleşmeleri arasındaki farklılıklar yer almaktadır. Ancak bu sorunlar makine öğrenmesi, büyük veri analizi, yapay zekâ gibi teknolojilerin sunduğu potansiyel ile giderilerek denetim süreçlerinin daha verimli, şeffaf ve etkili hale getirilmesine olanak sağlanabilir. Bu sorunların aşılması ile hayata geçirilebilecek küresel denetim sistemi hem denetim kalitesini artırabilir hem de uluslararası iş birliğini kolaylaştırarak denetim süreçlerinin standartlaşmasına, hızlanmasına ve daha fazla geminin daha uygun aralıklarla denetlenmesini sağlayarak deniz ve çevre emniyetinin artırılmasına olanak sağlayabilir.

Bu amaçlar doğrultusunda, küresel denetim sisteminin oluşturulmasına zemin hazırlayacak akademik çalışmaların gerçekleştirilmesi elzemdir. Akademik çalışmalar, bölgesel mutabakat zaptlarını kapsamlı bir şekilde inceleyen ve bu zaptlar arasındaki referans sözleşmeler farklılıklarını ortaya koyan analizlere odaklanmalıdır. Örneğin, farklı bölgelerdeki mutabakat zaptlarının denetim prosedürleri ve uygulamadaki başarıları karşılaştırmalı veya ortak olarak ele alınabilir. Ayrıca, bu zaptlar arasında uyumu arttırmayı hedefleyen standartlaştırma çalışmaları yapılabilir. Küresel düzeyde bütünleşmiş bir sistem oluşturulmasına yönelik olarak her bir bölgesel zaptın güçlü ve zayıf yönlerini analiz eden vaka çalışmalarının yanı sıra ekonomik ve politik engellerin aşılmasına ilişkin etki analizleri ile ulusal egemenlik hassasiyetlerini dikkate alan diplomatik iş birliği modelleri üzerine yapılacak çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Literatüre bu tür katkılar daha tutarlı ve etkili bir küresel denetim sisteminin geliştirilmesi için gerekli bilimsel temeli sağlayacak ve literatüre değerli iyileştirmeler sağlayacaktır.

1.3. Liman Devleti Denetim Süreçleri

PSC denetim süreci, geminin genel görünümünün gözlemlenmesi ve ilk izlenimlerin oluşmasıyla başlar. Bu aşamanın ardından gemi ve mürettebat sertifikalarının değerlendirilmesi yapılır. Bu değerlendirme, geminin ve personelinin niteliklerinin kontrol edilmesinin yanı sıra sertifikaların ilgili uluslararası standartlara uygunluğunu tespit etmek için yapılır. Daha sonra denetimciler, geminin ilgili deniz ve çevre emniyeti düzenlemelerine uygunluğunu tespit etmek için daha ayrıntılı bir inceleme gerçekleştirmektedirler (Şanlıer, 2020).

Ayrıntılı denetim kapsamında genel olarak liman devleti denetçileri geminin tüm alanlarını sistematik olarak denetler, yük ambarları ve tanklardan ana makine dairesine, ana güverteye, yaşam mahallerine ve köprüüstüne kadar olan geminin tüm alanları kapsayacak

şekilde geminin genel durumunun kapsamlı bir değerlendirmesini yaparlar. Önceki denetimlerde tespit edilen eksikliklerin bulunması durumunda PSC görevlileri, bu eksikliklerin belirlenen zaman çizelgesi içinde giderilip giderilmediğini de kontrol ederler. Uluslararası düzenlemelere uymayan durumların söz konusu olduğu denetimlerde ise daha detaylı bir denetim süreci de başlatılabilmektedir. Önceki denetimlerde tespit edilen eksiklikler giderildiğinde ve yeni bir sorun tespit edilmediğinde denetim sonlandırılır ve geminin seyrine izin verilir (Akyuz vd., 2016; Chen vd., 2019).

Donatanlar, gemi işletmecileri veya gemi mürettebatı uluslararası denizcilik sözleşmelerinde belirtilen şartlara ve standartlara uyum sağlayamadıkları takdirde liman devleti yetkilileri tespit edilen tüm eksiklikler giderilene kadar gemiyi alıkoyma yetkisine sahiptirler. Bu tedbir seyir emniyetini sağlayarak can ve mal emniyetini korumak için uygulanmaktadır (Heij vd., 2011; Chen vd., 2019; Chuah vd., 2022).

Gemilere rutin olarak uygulanan denetimlerin yanı sıra yılın belirli zamanlarında Yoğunlaştırılmış Denetim Kampanyaları (CIC) da düzenlenmektedir. Bu kampanyaların amacı son dönemlerde gemilerde yaygın olarak gözlemlenen eksikliklerin ele alınması ve kritik emniyet sorunlarının belirli bir süre içinde çözülmesini sağlamaktır.

1.4. Liman Devleti Denetiminin Sonuçları

Denizcilik sektöründeki gemi alıkonulmaları, yalnızca donatanlar veya gemi işletmecileri için değil aynı zamanda tedarik zincirinde yer alan diğer paydaşlar olan liman işletmecileri, lojistik sağlayıcılar ve bayrak devletleri açısından da önemli mali kayıplara neden olma potansiyeline sahiptir. Bir geminin alıkonulması, sefer programlarında beklenmedik bir şekilde aksamalara ve lojistik akışının kesintiye uğramasına yol açarak ticari operasyonlarda ciddi belirsizlik ve ek maliyetler oluşturur. Bu tür durumlar, operasyonel verimliliğin azalması ve masrafların artması gibi potansiyel risklere sahiptir; bu da denizcilik şirketleri ve sektör paydaşlarının kâr marjları üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Dahası gemilerin alıkonulması bir şirketin itibarını zedeleyerek müşterilerin güvenini sarsma ve stratejik ortaklıkların gelişimini önemli ölçüde etkileme riskine sahiptir. Emniyetli ve güvenilir yük taşıma becerisi, müşterilerin güvenini kazanmada ve ortaklıkları geliştirmede kilit bir faktördür ve alıkonulmalar bu güveni zedeleyebilir. İtibar kaybı, bir şirketin piyasadaki rekabet gücünü kısıtlayabilir ve uzun vadeli ticari ilişkilere zarar verebilir.

PSC denetimlerinde uygunsuzluklar nedeniyle gemilerin alıkonulması, bayrak devletlerinin performans göstergelerini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Bayrak devleti gemilerinde alıkonulma oranlarındaki artış, bayrak devletlerinin bölgesel otoritelerce yayımlanan performans sıralamalarında daha iyi bir kategoriden daha düşük performans kategorilerine gerilemesine neden olmaktadır. Performans listelerindeki bu düşüş, yalnızca ciddi bir prestij kaybı yaratmakla kalmayıp aynı zamanda ilgili bayrağı taşıyan gemilerin risk profillerinin yükselmesine ve denetlemelerde o bayrağın öncelikli hale gelerek daha sık denetimlere tabi tutulmalarına yol açmaktadır. Operasyonel verimliliği ve ticari itibarı zedeleyen bu olay, donatanların filolarını daha prestijli sicillere taşımasına zemin hazırlayarak, bayrak devletleri için önemli düzeyde ekonomik gelir kayıplarını da beraberinde getirmektedir.

Bu sonuçlar operasyonel aksaklıkları önlemek adına emniyet standartlarına uyumun hayati ve ticari önemini vurgulamaktadır. Sonuç olarak gemilerin alıkonulmasının temel nedenlerinin ayrıntılı olarak araştırılması, kural düzenleyici makamlar, armatörler/işletmeciler ve denizcilik şirketleri de dâhil olmak üzere ilgili tüm paydaşlar için emniyet uygulamalarının geliştirilmesi ve gelecekteki alıkonulmaların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

1.5. Gemi Tutuklanmalarının Literatür Analizi

Literatürde gemi tutuklanmaları oldukça geniş bir kapsama ve irdelenmeye sahiptir. Çalışmalar, denetime tabi tutulacak gemilerin seçiminden başlayarak denetim sonuçlarına bağlı olarak hangi geminin tutuklanması gerektiğine dair karar sürecine kadar gemilerin denetlenmesi ve tutuklanmaları hakkında detaylı analizler sunmaktadır. Ancak literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı PSC denetimlerine tabi tutulması muhtemel gemilerin belirlenmesi ve denetime tabi tutulacak gemilerin risk önceliklerinin tespit edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Gemi tutuklanmalarının sebeplerini inceleyen nispeten sınırlı çalışmalar ise literatürde iki temel yaklaşım çerçevesinde ele alınmıştır. Bu yaklaşımlardan ilki gemilerin dinamik ve statik özelliklerine (örneğin: gemi yaşı, tipi, tonajı, bayrağı, klas kuruluşu gibi) dayanarak tutuklanma nedenlerinin analizine odaklanmaktadır (Hocek ve Yazır, 2025). Literatür çalışmalarının büyük bir çoğunluğu bu özellikler ile gemi tutuklanmalarının arasında bir ilişkinin varlığını bulmak üzere gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak, Cariou vd.

(2009) Hint Okyanusu MoU'dan 2002-2006 dönemine ait veri setinin analiz edilmesi ile gemi yaşının, tanınmış klas kuruluşunun ve denetimi uygulayan liman devletinin alıkonulmalara neden olan başlıca faktörler olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Tsou (2019) Tokyo MoU verilerini kullanarak alıkoyma eksiklikleri ile dış faktörler arasındaki ilişkilerin yanı sıra alıkoyma eksikliklerinin kendi aralarındaki ilişkileri incelemek için büyük veri analizini kullanmıştır. Şanlıer (2020) ise Karadeniz MoU bölgesin ait 2012-2017 dönem verilerini temel alarak gerçekleştirdiği kapsamlı incelemede gemi yaşını alıkonulmalara yol açan en etkili faktör olarak tanımlarken gemi tipi, bayrak devleti, tanınmış klas kuruluşu ve denetim otoritesinin rollerini de önemli değişkenler olarak vurgulamıştır.

Literatürdeki ikinci bir yaklaşım ise gemi tutuklanma nedenlerini denetim sırasında tespit edilen eksikliklerin sayısı veya türü üzerinden değerlendirmeye dayanmaktadır. Bu doğrultuda Chen vd. (2019) gemi alıkonulmalarının ardındaki nedenleri analiz etmek için geliştirilmiş entropi ağırlıklı gri rasyonel analiz modeli kullanmış ve Tokyo MoU bölgesinin 2008-2017 yıllarını kapsayan çalışma Uluslararası Emniyetli Yönetim (ISM) sistemi, acil durum sistemleri ve yangın güvenliği gibi faktörlerin gemi alıkoymaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Wang vd. (2021) çalışmalarında, Tokyo MoU denetim verilerinin derinlemesine analizi yoluyla denizcilik şirketleri arasında yangın güvenliği ve seyir güvenliği konularında gelişmiş yönetim uygulamalarının kritik önemini vurgulamışlardır. Şanlıer (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma, 2016–2018 dönemine ait Paris MoU verilerini inceleyerek ISM, yangın talimleri, cankurtaran botları, yangın kapıları, makine dairesi temizliği ve acil durum jeneratörlerinin tutuklamalara etki eden kritik eksiklikler olduğunu belirtmiştir. Akyurek ve Bolat (2021) Avrupa birliği ülkelerindeki gözetli profillerini bütünleşik analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle analiz ederken Denizde Can Emniyeti (SOLAS) ve Yangın Güvenlik Sistemlerinin (FSS) neredeyse tüm ülkelerde evrensel olarak öncelikli kaygılar arasında yer aldığını belirtmişlerdir. Chen vd. (2022) ise gemilerin alıkonulma riskini belirlemek için CARMA algoritmasını kullanmış ve yangın güvenliği, seyir güvenliği, can kurtarma ekipmanları ve ISM sistemi ile ilgili eksikliklerin diğer eksikliklere göre daha yüksek alıkonulma riski ile ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Yan ve Wang (2022), Hong Kong limanındaki denetim kayıtlarını kullanarak eksikliklerin sayısına bağlı olarak gemi alıkonulma olasılığını tahmin etmiş ve her eksikliğin alıkonulma üzerindeki etkisini belirlemek için iForest modeli ile gelişmiş makine öğrenimi tekniklerini uygulamıştır. Chuah vd. (2022) 2016-2021 dönemine

ait Tokyo MoU verilerini analiz ederek en yaygın eksiklikleri kategorize etmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak ISM, MARPOL 73/78 Ek I ve IV ve çalışma koşulları en yaygın eksiklikler olarak bulunmuştur. Suhrab vd. (2022) Malezya Denizcilik Bakanlığı ve Tokyo MoU kayıtlarından elde ettikleri veriler ile sertifikasyon, can kurtarma ekipmanları ve yangın güvenliği önlemlerinin alıkonulmaya yol açan en sık karşılaşılan faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Son olarak Zhu vd. (2023) karar vericilerin psikolojik davranışlarını da kapsayan hibrit çalışmalarında, Tokyo MoU kapsamında can kurtarma ekipmanları ve ISM'in yanı sıra Paris MoU için de yangın güvenliği ve su/hava geçirmezlik eksikliklerini en önemli alıkoyma faktörleri olarak belirlemişlerdir.

Kapsamlı literatür analizi, çalışmalarda bazı eksikliklerin yaygın olarak tespit edildiğini ve ayrıca belirli literatür boşluklarının olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Yaygın olarak bulunan eksiklikler arasında ISM veya sertifikasyon/belgelendirme, yangın güvenliği ve can kurtarma ekipmanları yer almaktadır. Bununla birlikte önemli bir sınırlama, mevcut çalışmaların büyük bir kısmının ağırlıklı olarak yalnızca bir veya iki MoU'dan elde edilen veriler üzerinden yürütülmesidir. Bu yaklaşım risk profilleri, denetim kriterleri ve gözetim sıklıkları, MoU'lar arasında önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğinden bulguların farklı bölgelere genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Bu nedenle PSC denetimlerini iyileştirmek ve küresel denetim yaklaşımının daha derin ve kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla analizlerin birden fazla MoU'yu kapsayacak şekilde genişletilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, literatür eksikliklerinden bir diğeri ise önceki çalışmaların genellikle tüm yılı kapsayan verilere dayanması ve genellikle Yoğunlaştırılmış Denetim Kampanyalarının (CIC) etkisinin göz ardı edilmiş olmasıdır. CIC kampanyalarının odak noktası her yıl değişiklik göstererek farklı bir alana odaklanmakta, farklı mutabakat zaptları arasında da farklılık göstermekte ve böylelikle çalışmaların sonuçlarına etki etmektedir. CIC kampanyalarının verileri, genel tutuklanma verileri içinde değerlendirildiklerinde gemi tutuklanma sebeplerinin belirlenmesinde yanıltıcı sonuçlar doğurabilirler.

Bu doğrultuda, PSC denetimleri sırasında gemilerin alıkonulmasına neden olan temel eksikliklerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla Hata Ağacı Analizi (FTA) ile Hata Türü ve Etki Analizi (FMEA) yöntemlerini birleştiren hibrit bir yöntem uygulanmıştır. Bu hibrit yöntem, literatürde sıklıkla kullanılan tek boyutlu (olasılık temelli) değerlendirmelere ek olarak üç boyutlu (olasılık, şiddet, tespit edilemezlik) bir perspektif sunarak yenilikçi bir bakış açısı kazandırmaktadır.

Ayrıca Paris MoU, Tokyo MoU, Akdeniz MoU ve Hint Okyanusu MoU bölgelerinden elde edilen verilerin kullanıldığı bu çalışma, mevcut literatürde bulunmayan bir şekilde 4 MoU'yu aynı anda kapsayarak küresel denetim rejiminin oluşturulmasına hizmet edebilecek kapsamlı çalışmalardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışması, Paris MoU'nun 28 katılımcı denizcilik idaresi (URL-5, 2025), Tokyo MoU'nun 22 katılımcı denizcilik idaresi (URL-1, 2025), Akdeniz MoU'nun 11 katılımcı denizcilik idaresi (URL-4, 2025), Hint Okyanusu MoU'nun 21 katılımcı denizcilik idaresi (URL-2, 2025) olmak üzere toplamda 82 denizcilik idaresini kapsamış olup bu özelliği ile literatürde yapılmış en kapsamlı çalışmalardan biri olarak dikkat çekmektedir.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlamaları da mevcuttur. Veri setinin 4 MoU'dan oluşması literatürde bulunan çalışmalara kıyasla çalışmanın kapsamını genişletmiş olsa da mevcut 10 MoU'nun sadece 4'ünün çalışmaya dahil edilebilmesi çalışmanın sınırlayıcı bir faktörü olarak değerlendirilebilir. Çalışmanın bir başka sınırlaması ise FMEA metodunun bünyesinde yer alan uzman değerlendirmelerinin öznelliği ve bu değerlendirmelerin uzmanların yargısına bağlı olmasıdır.

Tüm bu sınırlamalara rağmen bu yüksek lisans tezi kapsadığı 4 MoU veri tabanı ve literatürde yenilikçi hibrit FTA-FFMEA metodu ile denizcilik emniyeti alanında politika geliştiren paydaşlar ve liman devleti denetçileri için bir rehber olabilecek ve ayrıca denizcilik sektöründe daha güvenli operasyonel standartların benimsenmesine katkı sunabilecek önemli çıkarımlar yapılmasına katkıda bulunacaktır. Çalışmanın, literatüre de yenilikçi yöntem kullanımı ve geniş kapsamı sayesinde sağlayacağı katkılar ile denizcilik alanında emniyet odaklı yaklaşımların geliştirilmesine ışık tutması ve sektör temsilcileri için önemli çıkarımlar sunması beklenmektedir.

1.5.1. Gemi Tutuklanmalarında Hata Ağacı Analizi

FTA denizcilik literatüründe geniş uygulama alanı bulan ve çeşitli konuların çözümünde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Denizcilik literatüründeki birçok farklı konuya FTA metodu kullanılarak çözüm aranmış olsa da literatürün kapsamlı bir incelenmesi ortaya koymuştur ki özellikle gemi tutuklanmalarının analizi konusunda FTA yöntemi oldukça sınırlı kullanılmıştır. Denizcilik literatüründe ve gemi tutuklanmalarının analizi konularında FTA metodu kullanılarak yapılan çalışmalar Tablo 4'te özet olarak sunulmuştur.

Tablo 4. FTA metodu kullanılarak yapılan çalışmalar

Akpınar ve Şahin (2020)	Karadeniz MoU veri tabanı ile 2005-2016 yılları için gemi alıkoymalarının incelenmesi
Uflaz vd. (2023)	Sıkışık sularda gemi çatışma riskine insan hatalarının katkısının değerlendirilmesi
Uğurlu ve Çicek (2022)	Gemi çatışma kazalarının analizi ve değerlendirilmesi
Töz vd. (2022)	Deniz taşımacılığında çatışma kazalarının analizi
Sakar vd. (2021)	Karaya oturma kazalarının risk analizi
Xu vd. (2020)	Ciddi trafik kazalarının incelenmesi
Arslan vd. (2018)	Tanker terminallerinde yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında meydana gelen kazaların değerlendirilmesi
Uğurlu vd. (2015)	Petrol tankerinde çatışma ve karaya oturma kazası analizi
Pietrzykowski (2007)	Açık alandaki gemi trafiğinde seyir güvenliğinin değerlendirilmesi
Antao ve Guedes Soares (2006)	RoPax gemilerinin kaza senaryolarının değerlendirilmesi

1.5.2. Gemi Tutuklanmalarında Hata Türü ve Etki Analizi

FMEA, denizcilik literatüründe yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup risk analizi için etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Denizcilik literatüründeki birçok farklı konuya çözüm için FMEA metodu kullanılmış olsa da bu yöntemin gemi tutuklanmalarında analiz için uygulanmasının nispeten sınırlı kaldığı görülmektedir. Denizcilik literatüründeki Hata Türü ve Etki Analizi çalışmaları Tablo 5’te özet olarak sunulmaya çalışılmıştır.

Tablo 5. FMEA metodu kullanılarak yapılan çalışmalar

Ceylan vd. (2023)	Denetimlerde tespit edilen MARPOL Ek VI eksikliklerinin risk analizi
Akyüz vd. (2016)	Gemilerdeki yoğunlaştırılmış denetim kampanyalarının analizi

Tablo 5'in devamı

Liu vd. (2024)	Denizdeki petrol sızıntısı riskini belirlemek ve değerlendirilmesi
Göksu ve Arslan (2023)	Gemi yanaşma/ayrılma operasyonunda dinamik risk değerlendirmesi
Doganay vd. (2023)	Gemi yakıt ikmali operasyonunda olası kazaların en aza indirilmesi üzerine çalışma
Chang vd. (2021)	Otonom gemilerinin operasyonlarının risk değerlendirmesi

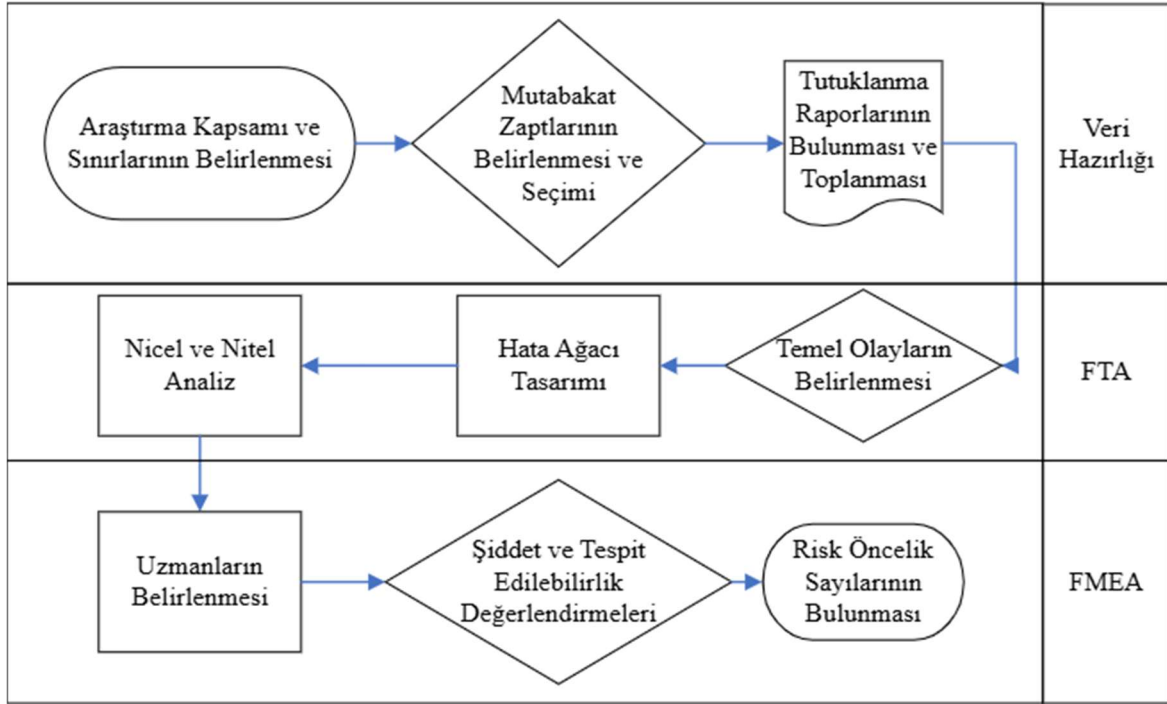


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu yüksek lisans tez çalışması, FTA ile FMEA yöntemlerini hibrit ederek mevcut literatüre yenilikçi bir yaklaşım sunmayı hedeflemektedir. Mevcut literatürde yer alan çalışmalar, genellikle gemilerde tespit edilen eksikliklerin ortaya çıkma olasılığına odaklanmakta ve böylelikle gelecekteki denetimlerde tespit edilecek potansiyel eksiklikleri öngörmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmalar, en yaygın eksiklikleri belirleyebilse de değerlendirmelerini yalnızca olasılıksal çerçevede gerçekleştirmektedirler (Chen vd., 2019; Wang vd., 2021; Şanlier, 2021; Akyurek ve Bolat, 2021; Chen vd., 2022; Yan ve Wang, 2022; Chuah vd., 2022; Suhrab vd., 2022; Hock vd., 2023). Ancak, potansiyel eksikliklerin tamamının aynı düzeyde ciddiyet veya tespit edilemezlik riski taşımadığı, düşük olasılığa sahip bazı eksikliklerin zor tespit edilebilirliği veya yüksek şiddet değerleri olması nedeniyle geminin tutuklanması gibi ciddi sonuçlara yol açabileceği, öte yandan bazı yüksek olasılıklı eksikliklerin daha kolay tespit edilebilir olması veya düşük şiddette sonuçlara yol açabileceği göz önüne alındığında tek boyutlu olasılıksal yaklaşım ciddi sınırlamalara sahip olmaktadır.

Sonuç olarak, çalışmada uygulanan hibrit FTA-FMEA yöntemi gemi alıkoyma durumlarını yalnızca olasılık açısından değil, aynı zamanda ciddiyet ve tespit edilemezlik boyutlarıyla da ele alarak daha kapsamlı ve derinlemesine bir analiz gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla, gemi alıkonmalarının temel sebepleri olan eksiklikler ve bu eksikliklerin olasılıkları ilk olarak FTA kullanılarak belirlenmiş ve daha sonra bu eksiklikler olasılık, ciddiyet ve tespit edilemezlik kriterlerine göre FMEA yöntemi ile önceliklendirilmiştir. Analiz için gerekli istatistiki veriler Paris MoU, Asya-Tokyo MoU, Akdeniz MoU ve Hint Okyanusu MoU veri tabanlarından elde edilmiştir. Çalışma öncesinde, mevcut 10 MoU veri tabanının tamamı eksikliklerin alıkonulmaya yol açıp açmadığını sınıflandırmadaki uyumları ve veri tabanlarının erişilebilirliği dikkate alınarak analiz edilmiştir. Uygun olan tüm veri setleri çalışmaya dahil edilerek çalışmanın kapsamı genişletilmeye çalışılmıştır. Uygun veri setine sahip veri tabanlarının sadece 1 Ocak 2023'ten 31 Temmuz 2023'e kadar olan zaman aralığı çalışmaya dahil edilerek çalışmanın süresi 7 ay ile sınırlandırılmıştır. Bu kısıtlama Eylül-Kasım ayları arasında gerçekleştirilen CIC kampanyalarından elde edilen verilerin çalışmaya dahil edilmek istenmemesinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise bu kampanya için denetim temalarının her yıl farklı konulardan seçilmesi ve farklı MoU'lar arasında denet temalarının farklılık göstermesidir.

Bu veri setlerine dayanarak ilk önce alıkoyma olasılıkları hesaplandıktan sonra hem nitel hem de nicel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Temel olayların birleşmesiyle oluşan ara olaylar ise daha sonra sektör uzmanları tarafından ciddiyet ve tespit edilemezlik kriterlerine göre değerlendirilip önceliklendirilmiştir. Çalışma aşamalarının şematik gösterimi Şekil 1’de sunulmuştur.



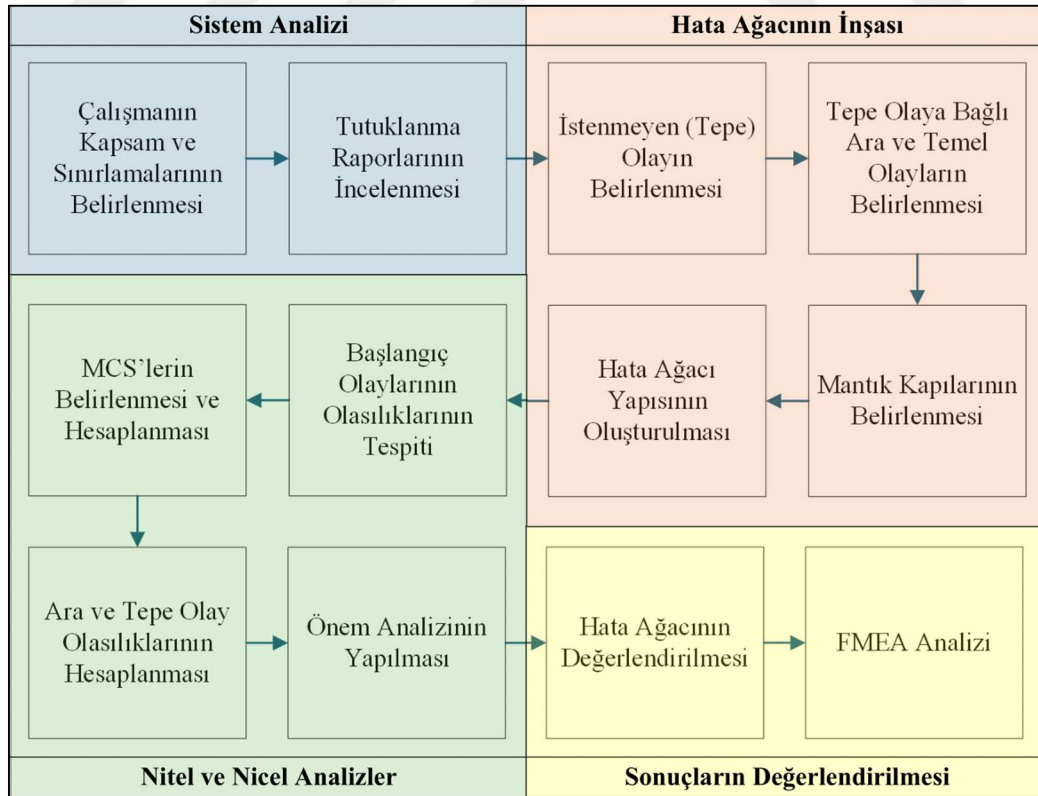
Şekil 1. Çalışmanın şematik akışı

2.1. Hata Ağacı Analizi Metodu

FTA, birden fazla sistem bileşeninde meydana gelen hataların neden olduğu istenmeyen bir olayın temel nedenlerini belirlemek ve bu hataların risklerini değerlendirmek için geliştirilmiş, yaygın olarak bilinen tümdengelimli ve görsel bir yöntemdir (Antao ve Guedes Soares, 2006; Töz vd., 2022). FTA'nın görsel bir metot olması hata türlerinin kolaylıkla yorumlanabilmesini hem paralel hem de sıralı hata kombinasyonlarının etkili bir şekilde tasvir edilmesini sağlar ve böylece istenmeyen olaya yol açabilecek tüm senaryoların netleştirilmesini kolaylaştırır (Uflaz vd., 2023). Bu bağlamda, FTA kullanmanın avantajları arasında potansiyel sorun bölgelerinin sistematik olarak belirlenmesi sorunların tekrarlanma olasılığının en aza indirilmesi ve analiz süreci boyunca sorun çözmeye stratejik bir yaklaşım

sağlanması yer almaktadır (Jasrin vd., 2021). 1960’larda geliştirilmesinden bu yana FTA, özellikle karmaşık sistemlerin analizinde, nükleer endüstri ve sağlık hizmetleri de dahil olmak üzere farklı disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Akpınar ve Sahin, 2020; Töz vd., 2022).

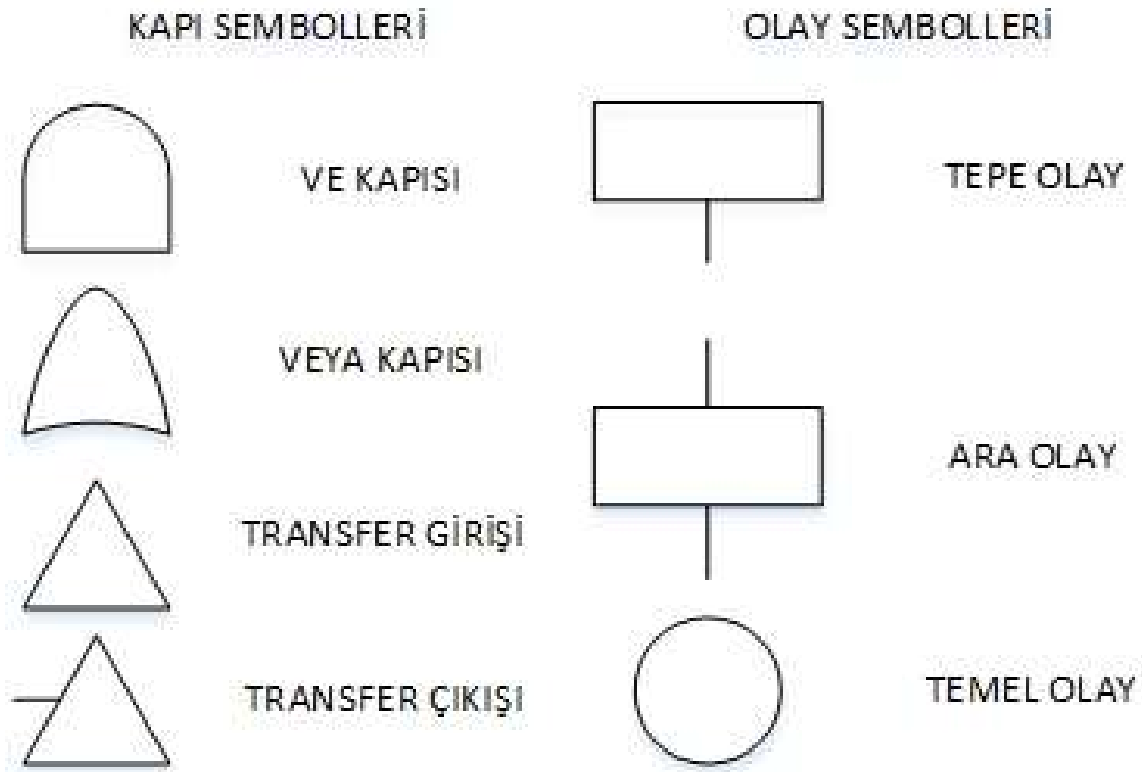
FTA, yapısal özellikleri sayesinde hem nicel analiz hem nitel analiz olmak üzere iki farklı analiz imkanını da sunmaktadır. Nicel Analiz, hata ağacında yer alan nedenlerin ve alt nedenlerin tanımlanmasını ve incelenmesini kapsar. Nicel analiz ile belirlenen olasılık değerleri ile temel ve üst olaylar arasında bir ilişki kurulması sağlanır. Bu ilişki sayesinde tepe olayın gerçekleşme olasılığının nicel olarak hesaplanması yapılabilmektedir. Böylelikle hangi olayların sistem arızalarına yol açma sıklığının yüksek olduğu ve hangi olaylara öncelik verilmesi gerektiği belirlenebilir. Öte yandan, nitel analiz aşaması ise hata ağacında yer alan tepe olay ve diğer olayların nitel olarak incelenmesini kapsamaktadır. Hata ağacında nicel analiz ile yapılan hesaplamalardan elde edilen veriler yorumlanır ve tepe olayın nedenleri arasındaki ilişki nitel olarak açıklanır. Bu nitel analiz, sistem başarısızlığının nedenlerini daha ayrıntılı ve derinlemesine anlaşılmasına yardımcı olur (Ozkilic, 2005; Töz vd., 2022). FTA analizi aşamaları Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Hata ağacı analizinin şematik akışı

Ancak FTA metodu tek metot olarak kullanıldığında bazı sınırlamalar ortaya çıkmaktadır. FTA metodu doğası gereği olayların riskleri yalnızca o olayın geçmişteki gerçekleşme olasılıklarına dayanarak belirlemektedir. Bu tek boyutlu yaklaşım, bir olayın olasılığı ne kadar yüksekse o kadar önemli ve öncelikli olduğunu varsaymaktadır. Bununla birlikte, bu yöntem olayların potansiyel etkilerini yani şiddetlerini ve tespit edilemezlik boyutunu yeterince dikkate almaz; bu durum, düşük olasılıkla gerçekleşen ancak yüksek şiddette etkili veya zor tespit edilen olayların analizde göz ardı edilmesine neden olabilir. Sonuç olarak tek boyutlu olasılıksal yaklaşım risk değerlendirmelerinin hem kapsamını hem de etkinliğini sınırlayabilir.

Hata ağacının görsel yapısı oluşturulurken bazı semboller ve kapılar kullanılarak bir diyagram elde edilir. Bu çalışmada kullanılan FTA sembolleri Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Hata ağacı analizi sembolleri

Bir hata ağacının oluşturulması sürecinde ilk aşama istenmeyen olay olarak tanımlanan tepe olayın ve daha sonra tepe olayın (TE) meydana gelmesine katkıda bulunan temel olayların (BE) tanımlanmasıdır. Daha sonra, mantık kapılarının belirlenmesi ile de

hata ağacının inşası tamamlanmış olur. Böylelikle hata ağacı inşası tamamlanarak her bir temel olayın olasılığı daha önce gerçekleşmiş benzer olaylardan elde edilen istatistiksel veriler referans alınarak hesaplanabilmektedir. Son olarak temel olayların oluşma olasılıkları da elde edildikten sonra sistemin güvenilirliği veya arıza olasılığını hesaplamak için Denklem 1, 2 ve 3'te gösterilen prensip kullanılmaktadır (Töz vd., 2022).

$$R = \frac{S}{(S + F)} \quad (1)$$

$$P_F = \frac{F}{(S + F)} \quad (2)$$

$$R + P_F = \frac{S}{(S + F)} + \frac{F}{(S + F)} \equiv 1 \quad (3)$$

S: Başarılar

F: Hatalar

R: Güvenilirlik

PF: Arıza Olasılığı

FTA'da Minimum Kesim Kümesi (MCS), hata ağacı sonuçlarının yorumlanmasını sağlayan temel bir kavramdır. MCS, tepe olayı (TE) üretmek için aynı anda meydana gelen temel olayların (BE) en küçük kombinasyonunu ifade eder. MCS'nin belirlenmesi sistemin arızalanmasına yol açabilecek en küçük hata kombinasyonlarının belirlenerek analizin derinlemesine yapılmasına olanak tanır. Bu kümeleri belirlemek için Boolean cebiri kullanılmaktadır. Boolean cebiri karmaşık hata ağacı ilişkilerini basitleştirilmiş ve yönetilebilir koşullara dönüştürülür (Akpınar ve Sahin, 2020; Töz vd., 2022).

Boolean cebiri mantıksal işlemleri matematiksel olarak ele alan temel bir yapıdır. George Boole (1854) tarafından geliştirilen bu sistem bilgisayar bilimleri, elektronik mühendisliği, mantık ve felsefe gibi birçok farklı disiplinde geniş uygulama alanı bulmuştur. Temelde iki değer “Doğru” ve “Yanlış” veya “1” ve “0” değerleri üzerine kurulu olan Boolean cebiri, bu değerler arasındaki ilişkileri analiz etmek için “VE”, “VEYA”, “DEĞİL” gibi mantıksal operatörler kullanır (Boole, 1854). Boolean cebiri temelde 3 mantıksal operatöre sahiptir. “VE” operatörü, iki girişin de “Doğru” (1) olması durumunda “Doğru” (1) değerini verir, aksi halde “Yanlış” (0) değerini verir. “VEYA” operatörü, girişlerden en

az birinin “Doğru” (1) olması durumunda “Doğru” (1) değeri verir, aksi halde “Yanlış” (0) değerini verir. “DEĞİL” operatörü, giriş değerini tersine çevirir. “Doğru” (1) ise “Yanlış” (0), “Yanlış” (0) ise “Doğru” (1) değeri elde edilmesini sağlar (Catumba ve Diaz, 2012).

FTA’da MCS’ler belirlendikten sonra üst olayın (TE) olasılığı mantıksal kapılar, özellikle de “VE” ve “VEYA” kapıları kullanılarak hesaplanmaktadır (Akpınar ve Sahin, 2020). Olasılık teorisine göre, “VE” kapısı, TE’nin yalnızca tüm girdi olaylarının aynı anda gerçekleşmesi durumunda meydana geleceği anlamına gelirken Denklem 4’te gösterildiği üzere girişlerin çarpılması şeklinde ifade edilir. “VEYA” kapısı, girdi olaylarından herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda TE’nin meydana geleceği anlamına gelirken Denklem 5’te gösterildiği üzere girişlerin toplanması olarak tanımlanır (Uflaz vd., 2023).

“Ve” kapısı,

$$Q(T) = \prod_{i=1}^N Q(X_i) \quad (4)$$

biçiminde hesaplanır.

“Veya” kapısı,

$$Q(T) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - Q(X_i)) \quad (5)$$

biçiminde hesaplanır.

Burada, X_i temel olayının meydana gelme olasılığı $Q(X_i)$ ile T üst olayının meydana gelme olasılığı $Q(T)$ ile temsil edilirken, N temel olay sayısını, i bağlı temel olay sayısını temsil eder ($i = 1, 2, \dots, N$).

Bir hata ağacında, TE’nin meydana gelme olasılığını hesaplamak için MCS’ler kullanılmaktadır. MCS kullanılarak, TE’nin olasılığı yani $Q(T)$, denklem 6’da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$Q(T) = 1 - \prod_{i=1}^{N_c} (1 - Q(C_i)) \quad (6)$$

Burada N_c minimum kesim kümelerinin sayısını, C_i minimum i kümesini ($i = 1, 2, \dots, N_c$) ve $Q(C_i)$, C_i kümesinin olasılığını temsil eder.

Böylece, eğer her bir BE'nin gerçekleşme olasılığı $Q(X_i)$, 1'den küçük ise tepe olayın olasılığı $Q(T)$,

$$Q(T) = \sum_{i=1}^{N_c} Q(C_i) \quad (7)$$

olarak hesaplanır.

MCS (C_i)'ler ise,

$$C_i = X_1, X_2, \dots, X_{N_i-1}, X_{N_i} \quad (8)$$

olarak ifade edilir. Burada $X_i \in (X_1, X_2, \dots, X_N)$ ile temel olayları, N_i ise temel olayların sayısını ifade eder.

FTA yönteminde, sistem güvenilirliğini artırmaya yönelik kritik hataların belirlenmesinde ve tepe olaya katkıda bulunan temel olayların öneminin belirlenmesinde önem analizleri kullanılmaktadır. Bu önem analizleri arasında, Fussell-Vesely ve Barlow-Proschan önem analizleri ön plana çıkmaktadır. Fussell-Vesely önem analizi bir olayın meydana gelmesinin sistem başarısızlığı üzerindeki etkisini değerlendirir ve bir bileşenin başarısızlığının sistem arızasına yol açma olasılığını ifade eder. Bir başka deyişle bir temel olayın tepe olayının olasılığına katkısını, o temel olayı içeren minimum kesim kümelerinin olasılıklarının toplamının tepe olayının olasılığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Fussell-Vesely değeri yüksek olan temel olaylar risk metriğine daha büyük katkıda bulunmuş olur ve bu da onların öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken olaylar haline getirir (Van der Borst ve Schoonakker, 2001; Borgonovo vd., 2003).

Barlow-Proschan önem analizi ise bir bileşenin sistem güvenilirliğine olan etkisini bileşenin güvenilir olduğu durumla karşılaştırarak değerlendirilmesini esas alır. Bu analizde, temel olayların bağımsız olduğu ve her bir bileşenin belirli bir ömür dağılımına sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu önem ölçüsü, bir olayın sistemdeki ilk arızaya neden olma olasılığı olarak tanımlanır ve olayın sistem güvenilirliği üzerindeki etkisini inceler. Bir başka deyişle özellikle sistemde ilk arızaya neden olabilecek olayları belirlemek ve sistem güvenilirliğini

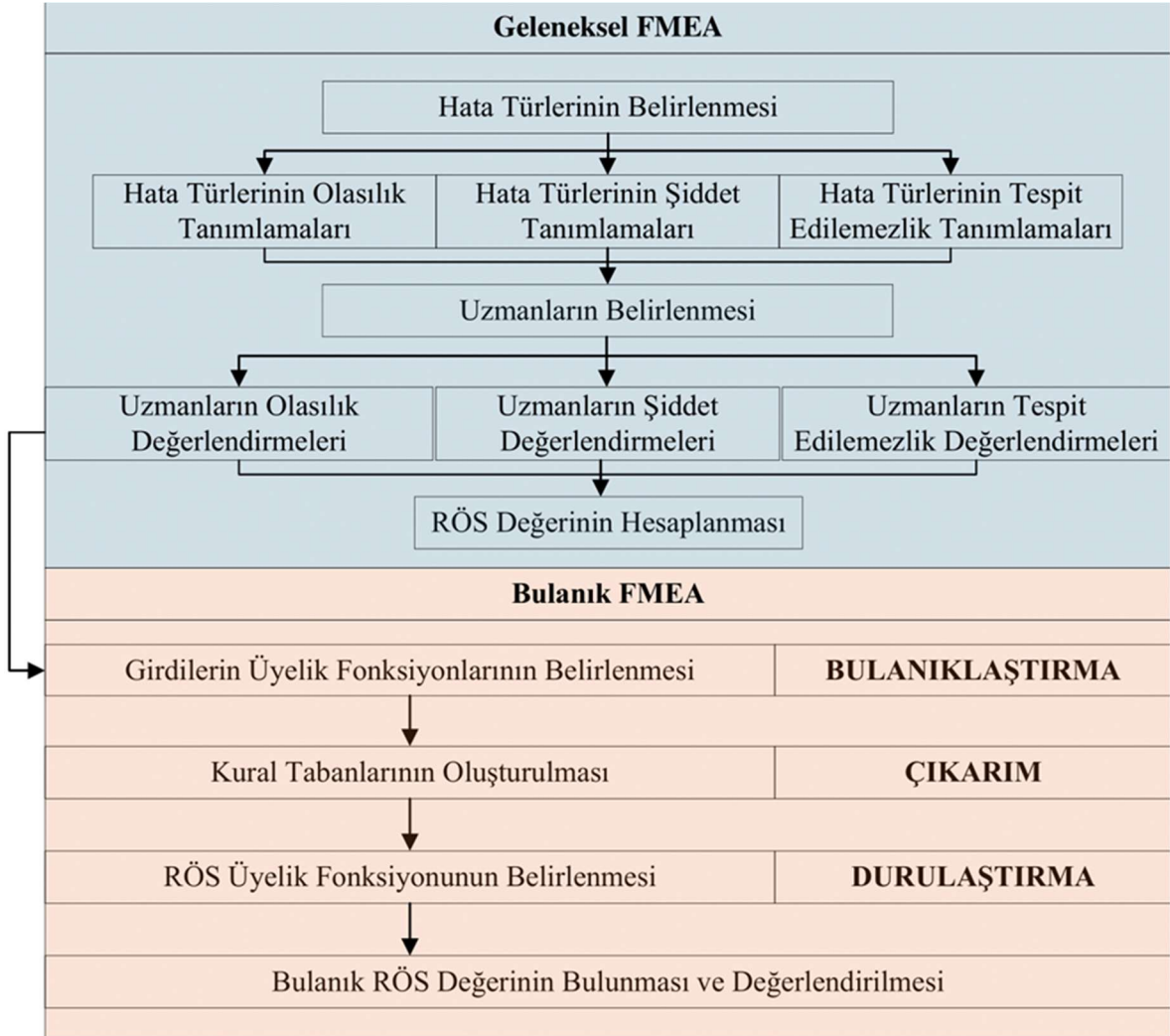
iyileştirmek amacıyla bu ölçü kullanılmaktadır (Barlow ve Proschan, 1975; Iyer, 1992; Natvig, 2009).

FTA’da sadece olasılıklara dayalı önceliklendirme, sistem arızasının oluşma potansiyelini göstermekle birlikte, hangi olayın daha kritik olduğunu ve sistem üzerinde daha etkili olduğunu tam anlamıyla ortaya koyamaz. Önem analizi, riskin daha iyi anlaşılmasına, iyileştirme çalışmalarının doğru önceliklendirilmesine ve dolayısıyla sistem güvenilirliğinin artırılmasına yardımcı olur. Bu nedenle önem analizine dayalı sıralama, olayların sistem güvenilirliği üzerindeki duyarlılıklarını belirlemek için kritik bir rol oynamaktadır. Böylelikle Fussell-Vesely ve Barlow-Proschan önem analizlerinin kullanılması sistemdeki en kritik olayları tespit etmeye ve risk azaltma stratejilerini oluşturmaya yardımcı olur (Barlow ve Proschan, 1975; Natvig, 2009). Çalışmanın FTA’yı kapsayan aşamalarında, nicel hesaplamaların yapılabilmesi için Isograph Reliability Workbench 14.0 yazılımı kullanılmıştır.

2.2. Hata Türü ve Etki Analizi Metodu

FMEA, risk analizine yönelik etkili ve sistematik bir çerçeve sağlayan, ilk olarak ABD ordusu tarafından havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmiş proaktif yaklaşım sunan bir metottur (Bowles ve Peláez, 1995). Bir süreç veya sistemin geliştirilmesi veya işletilmesinin her aşamasında ortaya çıkabilecek potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanırken bu hata türlerinin genel sistem performansı üzerindeki etkilerini de kapsamlı bir şekilde değerlendirebilen bir yaklaşım sunar (Akyuz vd., 2016; Goksu ve Arslan, 2023). Detaylı analiz kapasitesi ve metodolojik kullanım kolaylığı nedeniyle FMEA, proaktif risk yönetimi ve değerlendirmesi alanında akademik literatürde yaygın olarak benimsenen bir yöntemdir (Li vd., 2021; Ceylan vd., 2023). Ayrıca, sistem zafiyetlerinin yapılandırılmış ve öngörülü bir analizini sunarak, FTA yöntemini stratejik olarak tamamlaması çalışmanın gemi alıkoyulma risklerinin değerlendirilmesinde genel güvenilirliğini güçlendirir. Bu doğrultudaki çalışmada tamamlayıcı ikincil bir metodolojik yaklaşım olarak FMEA yöntemi kullanılmıştır.

FMEA metodunun şematik akışı Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. Hata türü ve etki analizi metodu akış şeması

FMEA yöntemi, bir sistemde ortaya çıkabilecek potansiyel hata türlerinin belirlenmesi ile başlar. Daha sonra, her bir hata türünün sonuçları titizlikle tanımlanır ve hata türlerinin risk değerlendirmesi üç temel parametrenin niceliksel çarpımı yoluyla gerçekleştirilir. Bu parametreler; O (Oluşum), S (Şiddet/Ciddiyet) ve D (Tespit edilemezlik) olarak isimlendirilir ve aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

O (Oluşum): Bir arızanın meydana gelmesinin beklendiği sıklığı ifade eder.

S (Şiddet): Olayın ciddiyetini ve etkisini değerlendirir. Bu kritere göre, arızanın mal, can ve çevre üzerindeki potansiyel sonuçları değerlendirilir.

D (Tespit Edilemezlik): Bir hata türünün tespit edilme zorluğunu gösterir; tespit edilmesi daha zor olan hata türlerine daha yüksek değerler atanır.

Geleneksel FMEA metodolojisinde O, S ve D değerleri uzman bir ekip tarafından tecrübeler ve yargılara dayalı olarak çeşitli ölçekler kullanılarak puanlanır. Literatür

taramaları en yaygın olarak kullanılan ölçeğin 1 ila 10 arasında değişen onlu ölçek olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle çalışmada onlu ölçek tercih edilmiştir (Zaman vd., 2014; Akyuz vd., 2016; Ceylan vd., 2023; Goksu ve Arslan, 2023). O, S ve D kriterlerine ilişkin onlu seviyeler ve tanımları Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 6. Oluşum (O) seviyeleri

Değer	Oluşum Potansiyeli	Tanım
10	Çok Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı neredeyse kesindir; neredeyse her zaman meydana gelir.
9	Çok Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı çok yüksektir; çok sık meydana gelir.
8	Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı yüksektir; sık sık meydana gelir.
7	Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı yüksektir; düzenli olarak meydana gelir.
6	Orta	Olayın gerçekleşme olasılığı orta düzeydedir; zaman zaman daha sık meydana gelir.
5	Orta	Olayın gerçekleşme olasılığı orta düzeydedir; zaman zaman meydana gelir.
4	Orta	Olayın gerçekleşme olasılığı orta düzeydedir; zaman zaman daha az meydana gelir.
3	Düşük	Olayın gerçekleşme olasılığı düşüktür; nadiren meydana gelir.
2	Düşük	Olayın gerçekleşme olasılığı çok düşüktür; çok nadir meydana gelir.
1	Çok Düşük	Olayın gerçekleşme olasılığı çok düşüktür; neredeyse hiç gerçekleşmez.

Tablo 7. Şiddet (S) seviyeleri

Değer	Şiddet	Tanım
10	Çok Yüksek	Olayın sonuçlanması çok ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması neredeyse kesindir.
9	Çok Yüksek	Olayın sonuçlanması çok ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski oldukça yüksektir.
8	Yüksek	Olayın sonuçlanması ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski nispeten daha yüksektir.
7	Yüksek	Olayın sonuçlanması ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski yüksektir.
6	Orta	Olayın sonuçlanması orta ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski orta-yüksek seviyedir.
5	Orta	Olayın sonuçlanması orta ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski orta seviyedir.
4	Orta	Olayın sonuçlanması orta ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski orta-düşük seviyedir.
3	Düşük	Olayın sonuçlanması düşük ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski düşüktür.
2	Düşük	Olayın sonuçlanması düşük ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski daha düşüktür.
1	Çok Düşük	Olayın sonuçlanması çok düşük ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski oldukça düşüktür.

Tablo 8. Tespit edilemezlik (D) seviyeleri

Değer	Tespit Edilemezlik	Tespit Edilme Olasılığı (%)	Tanım
10	Çok Yüksek	0–5	Olayın tespit edilemezliği son derece yüksektir. Genellikle fark edilmez veya tespit edilmesi neredeyse imkansızdır.

Tablo 8'in devamı

9	Çok Yüksek	6–15	Olayın tespit edilemezliği çok yüksektir. Genellikle gözden kaçır veya yanlış yorumlanır.
8	Yüksek	16–25	Olayın tespit edilemezliği yüksektir. Bazı durumlarda fark edilebilir, ancak genellikle belirsiz kalır ve doğru bir şekilde tespit edilmesi zordur.
7	Yüksek	26–35	Olayın tespit edilemezliği yüksektir. Belirli önlemlerle tespit edilebilir, ancak bazı durumlarda yine de gözden kaçabilir.
6	Orta	36–45	Olayın tespit edilemezliği orta seviyedir. Genellikle fark edilebilir, ancak bazı durumlarda gözden kaçabilir.
5	Orta	46–55	Olayın tespit edilemezliği orta seviyedir. Genellikle önlemlerle fark edilir, ancak bazen geç veya yanlış tespit edilebilir.
4	Orta	56–65	Olayın tespit edilemezliği orta seviyedir. Genellikle zamanında fark edilir ve yerinde önlemlerle kolayca tespit edilebilir.
3	Düşük	66–75	Olayın tespit edilemezliği düşüktür. Sıklıkla fark edilir ve genellikle doğrulukla tespit edilir.
2	Düşük	76–85	Olayın tespit edilemezliği düşüktür. Neredeyse her zaman zamanında fark edilir ve etkili önlemlerle hızla tespit edilir.
1	Çok Düşük	86–100	Olayın tespit edilemezliği düşüktür. Neredeyse her zaman hızlı ve doğru bir şekilde fark edilir.

Sektör uzmanlarının her bir hata türünü değerlendirmesi sonucu belirlenen O, S ve D parametrelerinin çarpımı ile hesaplanan Risk Öncelik Sayısı (RÖS), risk değerlendirme sürecinde önemli bir ölçüt olarak kullanılmaktadır (Akyuz ve Celik, 2018; Ceylan vd., 2023). RÖS değerinin hesaplanmasına ilişkin formüller, denklem 9 ve 10'da ifade edilmektedir.

$$R\ddot{O}S = \bar{O} \times \bar{S} \times \bar{D} \quad (9)$$

$$\bar{O}, \bar{S}, \bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i, S_i, D_i}{n} \quad (10)$$

Burada n uzman değerlendirme sayısını, i bağlı uzman değerlendirmesini temsil eder ($i = 1, 2, \dots, n$).

Çok yüksek bir RÖS değeri acil müdahale gerektiren kritik bir riske işaret eder. Çünkü artan RÖS değeri sistemin risk seviyesinde buna karşılık gelen bir artış anlamına gelmektedir (Zaman vd., 2014; Goksu ve Arslan, 2023). Risklerin önceliklendirilmesi ise kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak en riskli potansiyel arızaların proaktif bir şekilde ele alınmasını sağlar ve böylece sistemin genel güvenilirliği artırılmış olur (Stamatis, 2003). Bununla birlikte, geleneksel RÖS hesaplama yönteminin çeşitli sınırlamaları mevcuttur (Bowles ve Peláez, 1995; Zaman vd., 2014; Akyuz vd., 2016; Akyuz ve Celik, 2018; Goksu ve Arslan, 2023; Liu vd., 2024). Bu sınırlamalar;

- Farklı kombinasyonlarının eşitliği: Oluşum (O), Şiddet (S) ve Tespit Edilemezlik (D) faktörlerinin farklı kombinasyonları aynı RÖS değerlerine yol açabilmektedir. Ancak, aynı RÖS değerine sahip arıza türlerinin farklı risk etkilerine sahip olabileceği ihtimalini göz ardı edilmemelidir. Örneğin, her ikisi de 12 eşdeğer RÖS değeriyle sonuçlanan O=1, S=2, D=6 ve O=6, S=2, D=1 kombinasyonları önemli ölçüde farklı risk sonuçları sergileyebilir.
- Faktörlerin eşit ağırlıklandırılması: FMEA analizinde, her bir risk faktörünün eşit öneme sahip olduğu varsayılmaktadır. Ancak bu faktörlerin göreceli önemi arıza türüne bağlı olarak değişebilir. Gerçekte, bu eşitlik varsayımı sıklıkla geçersizdir ve potansiyel olarak yanıltıcı analiz sonuçlarına yol açabilir. Örneğin farklı sistemlerde hata türlerinin şiddeti farklı öneme sahip olabilir veyahut bir sistemde hata türünün şiddeti daha etkili olarak değerlendirilebilirken bir başka sistemde oluşumu daha etkili olarak değerlendirilebilir.
- Sayısal değerleri belirlemekte yaşanan güçlükler: Risk faktörlerinin sayısal değerler üzerinden belirlemek genellikle güçlük arz etmektedir. Kesin sayısal derecelendirmeler her zaman mümkün olmadığından, bu faktörleri ifade etmek için dilsel terimlerin (ör. “yüksek” ve “düşük”) kullanımı daha yaygındır.

- Hassasiyet sorunu: RÖS değerleri parametrelerdeki değişikliklere karşı oldukça hassastır; örneğin, O ve S değerlerinin her ikisinin de 6 olarak değerlendirildiği bir durumda, D'deki tek puanlık değişiklik, RÖS değerinde 36 puanlık bir değişikliğe neden olur. Bu nedenle, risk parametrelerini değerlendiren uzmanların sistem hakkında yeterli deneyime ve bilgiye sahip olmaları gerekmektedir.
- Doğrusal olmayan etkileşimler: FMEA'da, risk parametrelerinin çarpımına dayalı hesaplama, bu parametrelerin doğrusal olmayan etkileşimleri nedeniyle her zaman kesin sonuçlar vermemekte ve dolayısıyla RÖS değerlerinin gerçek riskleri tam olarak yansıtmasını engelleyebilmektedir.
- Risk parametrelerinin arasındaki ilişkinin göz ardı edilmesi: Risk parametreleri her hata türü için ayrı ayrı değerlendirildiği için O, S ve D faktörlerinin birbirleriyle olası dolaylı veya doğrudan ilişkilerinin etkileri dikkate alınmamaktadır.
- RÖS değerlerinin dağınıklığı: RÖS değerleri, 1 ($1 \times 1 \times 1$) ile 1000 ($10 \times 10 \times 10$) arasında eşit bir dağılım göstermemektedir. O, S ve D değerlerinin olası kombinasyonlarının %90'ı 405'ten daha düşük bir RÖS değeri ile sonuçlanır. Ayrıca, O, S ve D değer kombinasyonlarının yalnızca 120 benzersiz RÖS değeri vardır. Öte yandan 161 adet RÖS değeri (11, 13, 17, ..., 151-199) üç risk parametresinin çarpılmasıyla elde edilemez.

Geleneksel FMEA metodu ile ilişkili dezavantajların üstesinden gelmek için literatürde oldukça yaygın şekilde kullanılan bulanık mantık entegrasyonu bu çalışmaya dahil edilmiştir.

Ayrıca FMEA'nın tek metot olarak benimsendiği koşullarda bazı sınırlamalar da ortaya çıkmaktadır (Shafiee vd., 2019). Örneğin;

- Geleneksel FMEA, genellikle statik bir analiz yöntemidir ve dinamik sistemlerdeki karmaşık etkileşimleri modellemekte zorlanır. Sistemdeki birden fazla bileşenin eş zamanlı arızasını incelemeye başarısızdır.
- FMEA metodunda yalnızca en kritik hata modları dikkate alınır. Çoklu veya ikincil arızaların etkileri dikkate alınmamaktadır.

Böylelikle FMEA'nın tek metot olarak kullanılmasındaki dezavantajları da ortadan kaldırmak, dinamik sistemlerin karmaşık etkileşimlerini incelemek ve çoklu arızaların eş zamanlı etkilerini daha kapsamlı inceleyebilmek için FTA-FFMEA metodolojisi benimsenmiştir.

2.3. Bulanık Mantık Yaklaşımı

Bulanık mantık, belirsizlikle başa çıkmak ve dilsel kavramları sayısal temellere dönüştürmek konusunda etkili bir araç sağlar (Zadeh, 1965). Böylece dilsel ve kesin olmayan verilerle ifade edilen kavramların matematiksel olarak modellenmesine olanak sağlayarak özellikle insan algısının sınırlı doğası nedeniyle kesin ve eksiksiz verilerin elde edilemediği durumlarda önemli bir avantaj sağlamaktadır (Liu, 2010; Gallab vd., 2019; Goksu ve Arslan, 2023).

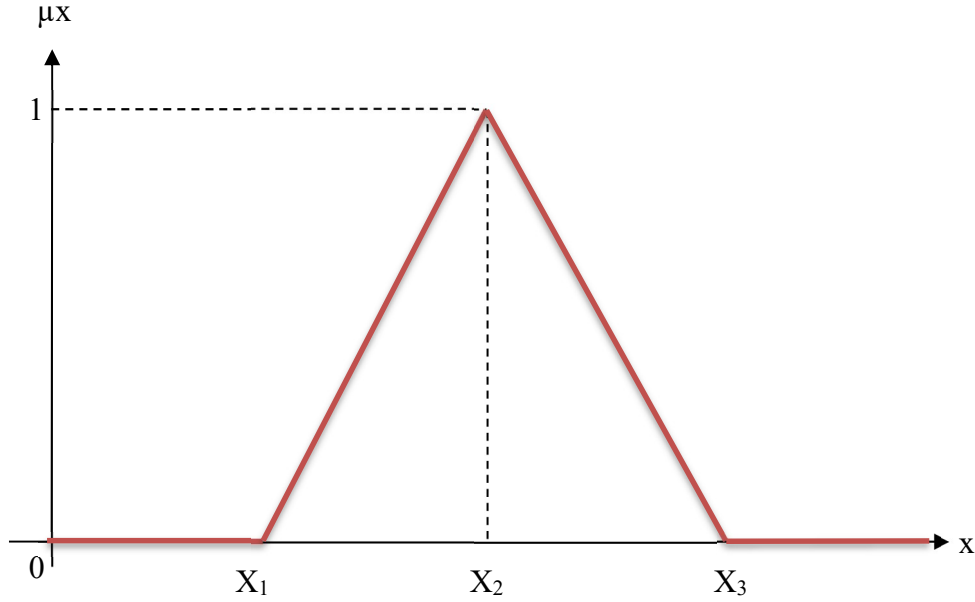
Bulanık mantık karmaşık problemleri insan muhakemesine daha yakın bir şekilde ele alarak klasik ikili mantığın (“Evet” veya “Hayır”) getirdiği sınırlamalarının ötesine geçmektedir. Bu yaklaşımda dilsel değişkenler, sistem değişkenlerini sayısal değerler yerine doğal dil terimleri kullanarak tanımlamakta ve bu dilsel terimler matematiksel modeller aracılığıyla sayısal formatlara dönüştürülmektedir (Sanchez-Roger vd., 2019). Dilsel terimlerin sayısal terimlere dönüşümü sağlamak için üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonları, girdi değerlerini bulanıklaştırarak ve sayısal değerleri dilsel terimler ile eşleştirerek önemli bir rol oynamaktadır (Kumru ve Kumru, 2013).

Üyelik fonksiyonları literatürde çeşitlilik gösterse de en yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarıdır (Wang vd., 2009). Hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları genellikle daha karmaşık olan üyelik fonksiyonlarına kıyasla hesaplama açısından daha verimli ve basitlik sağlamaları nedeniyle literatürde sıkça kullanılan ve farklı özelliklere sahip üyelik fonksiyonlarıdır (Gholamy vd., 2019). İki fonksiyonun temel farklılıkları ise şekillerinden ve matematiksel ifadelerinden kaynaklanmaktadır.

Üçgen üyelik fonksiyonu, geometrik olarak üç nokta ile tanımlanan üçgen şeklinde bir fonksiyondur. Bu noktalar (x_1 , x_2 , x_3) ile gösterilmektedir. Burada, “ x_2 ” noktası üyelik değerinin en yüksek olduğu noktayı (üyelik değeri 1), “ x_1 ” noktası üyelik değerinin sıfır olduğu sol noktayı, “ x_3 ” noktası ise üyelik değerinin sıfır olduğu sağ noktayı gösterir.

Yamuk üyelik fonksiyonu, dört nokta ile tanımlanan yamuk şeklinde bir fonksiyondur. Bu noktalar (x_1 , x_2 , x_3 , x_4) ile gösterilmektedir. Bu noktalardan, “ x_2 ” ve “ x_3 ” noktaları arasında üyelik değeri 1’e eşittir ve bu noktalardan uzaklaştıkça üyelik değerinde azalmalar gözlemlenir. “ x_1 ” noktası üyelik değerinin sıfır olduğu sol noktayı, “ x_4 ” noktası ise üyelik değerinin sıfır olduğu sağ noktayı gösterir (Ross, 2005; Kaynak vd., 2012). Böylece,

çalışmada kullanılan (x_1, x_2, x_3) bulanık kümesi için tanımlanan üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonları, basit yapıları ve hesaplama kolaylıkları nedeniyle tercih edilirken, yamuk üyelik fonksiyonları daha karmaşık sistemleri modellemeye ve belirsizlikleri daha etkin ifade etmeye esneklik sağlamaktadır. Hangi üyelik fonksiyonunun daha iyi olduğu ise uygulamanın özel gereksinimlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örneğin, üçgen üyelik fonksiyonları kontrol sistemlerinde ve basit karar verme problemleri için hızlı sonuçlar verirken yamuk üyelik fonksiyonları karmaşık sistemler ile belirsizlik içeren risk değerlendirme ve karar verme problemlerinin çözümünde daha etkili sonuçlar vermektedir (Ross, 2005; Kaynak vd., 2012).

Bu çalışmada, girdi değerlerinin sınıflandırılmasında basit yapısı ve hesaplama kolaylığı nedeni ile üçgen üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir. Üçgen bulanık sayılar için üyelik fonksiyonları denklem 11 kullanılarak matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_2 \\ \frac{x - x_2}{x_3 - x_2}, & x_2 \leq x \leq x_3, \quad \text{burada } x_1 < x_2 < x_3 \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (11)$$

Bulanık mantık uygulamaları belirsizlik ve karmaşıklık içeren problemlerin modellenmesi ve çözümünde bulanık toplama operatörleri ve kural tabanlı uzman sistemler olarak iki ana bileşene ayrılır. Bu iki yaklaşım özellikle risk değerlendirmesi ve karar verme gibi süreçlerde insan yargısının genellikle belirsiz ve kesin olmayan ifadeler içermesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Her iki yöntem de karmaşık problemlerin çözümünde ve karar verme süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli roller üstlense de kendi içlerinde farklı avantaj ve dezavantajlara da sahiptirler (Ayçin, 2011; Ödük, 2019).

Kural tabanlı uzman sistemler genellikle uzman bilgisine dayalı dilsel kuralları kullanarak karmaşık problemleri çözmeyi hedefler. Kural tabanlı sistemler dilsel belirsizlikleri bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonlar aracılığıyla sayısal değerlere dönüştürür. Böylece bulanık mantıkla kurulan uzman sistemler, insan karar verme mekanizmalarına daha yakın bir modelleme imkânı sunar ve bu sayede daha gerçekçi sonuçların elde edilmesine olanak sağlar (Ayçin, 2011; Ödük, 2019).

Bulanık toplama operatörleri kuralların girdi ve çıktıları arasındaki ilişkileri modellemede ve sonuçları birleştirmede kritik bir rol üstlenir. Bu operatörler farklı bulanık kümeler arasındaki ilişkileri modellemek ve kuralların çıktılarını birleştirmek için “Min, Max, Çarpım, Ortalama” gibi çeşitli yöntemler sunar. Ancak, geleneksel RÖS hesaplamalarında tespit edilen bazı dezavantajlara benzer şekilde, bulanık toplama operatörlerinin de benzer sınırlamaları bulunmaktadır (Akyuz vd., 2016; Peng ve Yang, 2016). Sonuç olarak kural tabanlı uzman sistemler insan uzmanlığını açık kurallar aracılığıyla sisteme aktarmaya odaklanırken bulanık toplama operatörleri bu kuralların birleştirilmesi ve yorumlanmasında kullanılan matematiksel araçlar olarak özetlenebilirler (Ayçin, 2011; Ödük, 2019).

Mamdani ve Assilian (1975), kural tabanlı bulanık sistemlerin doğrusal olmayan sistemlerde etkili olduğunu belirtmişlerdir ve çıkarım sürecinde ise bulanık toplama operatörlerini kullanmışlardır. Bu sistem insan bilgisinin modellenmesi için en yaygın yöntemlerden biri olarak öne çıkmakta ve sistematik olarak uzman görüşlerine dayalı çözümler sunmaktadır. Mamdani modeli, “Eğer-İse” kurallarını ve dilsel ifadeleri kullanarak belirsizliği yönetmede oldukça etkilidir ve bu da onları özellikle karmaşık ve belirsiz senaryoların ele alınmasında uygun hale getirir. Mamdani modeli belirsizliklerin yönetimi için bulanık mantık sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir süreçtir ve beş temel adımdan oluşmaktadır (Akyuz vd., 2016; Goksu ve Arslan, 2023).

2.3.1. Kural Tabanlı Geliştirme

Mamdani çıkarım yöntemlerinde kural tabanlı geliştirme bulanık mantık sistemlerinin ilk yapı taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Kural tabanlı geliştirme uzmanların bilgi ve deneyimlerinden yararlanarak “Eğer-İse” kurallarının oluşturulmasını içermektedir. Bu kurallar, sistemin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkileri tanımlar ve böylece sistemin girdi-çıktı ilişkileri insan algısına daha yakın bir şekilde modellenmiş olur (Babuška, 1996).

2.3.2. Girdilerin Dönüşümü

Mamdani çıkarım yöntemlerinde girdilerin dönüşümü aşaması sistemin bulanıklaştırma adımı olarak tanımlanmaktadır. Bu aşamada kesin olarak elde edilen giriş verileri önceden tanımlanmış üyelik fonksiyonları kullanılarak “0” ile “1” arasında değişen üyelik derecelerine dönüştürülür. Böylece her bir girdi değeri “düşük”, “orta” veya “yüksek” gibi dilsel terimlerle ilişkilendirilen bulanık kümelerle atanmış olur. Bu dönüşüm süreci kural tabanında yer alan “Eğer-İse” kurallarının çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir; çünkü kurallar girdilerin bulanıklaştırılmış değerleri üzerinden çalıştırılmaktadır. Literatürde kullanılan üyelik fonksiyonları genellikle üçgen veya yamuk üyelik fonksiyonları şeklinde olup bu çalışmada hesaplama kolaylığı ve basitliği nedeniyle üçgen üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir. Bu süreç sistemin doğrusal olmayan ilişkileri yakalamasını ve belirsizlikleri daha esnek bir şekilde ele almasına olanak sağlar (Akyuz vd., 2016; Goksu ve Arslan, 2023).

2.3.3. Kuralların Değerlendirilmesi

Mamdani çıkarım yöntemlerinde kuralların değerlendirilmesi aşaması girdilerin dönüşümü aşaması aracılığıyla bulanıklaştırılmış giriş değerlerinin, kural tabanı geliştirme aşamasında oluşturulan kural tabanında tanımlı “Eğer-İse” kuralları çerçevesinde işlenmesiyle gerçekleşir (Ross, 2005). Bu aşamada, her bir kuralın öncül kısmında yer alan dilsel ifadeler için ilgili giriş değerlerinin üyelik fonksiyonları kullanılarak hesaplanan üyelik dereceleri elde edilir. Belirlenen üyelik dereceleri kural etkinleştirme derecesini ölçer ve çıkarım motoru bu analizi karar verme sürecine katkıda bulunmak için kullanır (Babuška, 1996; Goksu ve Arslan, 2023). Kuralların değerlendirilmesinde kullanılan operatörler sistemin performansını ve yorumlanabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Uygulamaların

çoğunda “ve” için Min, “veya” için ise Max operatörleri tercih edilmektedir. Alternatif olarak bazı uygulamalarda çarpım operatörü de kullanılabilir; ancak bu durumda elde edilen sonuç Min operatörünün sağladığı keskinliği biraz daha yumuşatabilir (Ross, 2005). Bu sebeple bu çalışmada kuralların değerlendirilmesi için Min, Max operatörleri kullanılmıştır.

2.3.4. Kural Çıktılarının Birleştirilmesi

Mamdani çıkarım yönteminde kural çıktılarının birleştirilmesi aşaması her bir kuralın girişlerin bulanıklaştırılması ve kuralların değerlendirilmesi sonucunda elde ettiği çıkış bulanık kümesinin sistemin genel çıkış bulanık kümesini oluşturacak şekilde birleştirilmesini ifade eder. Bu süreç sistemin bulanık çıkarım sürecindeki tüm kurallara dayalı olarak nihai bir çözüm üretmesine olanak sağlar. Bu aşamada her bir kural için uygulama sonucunda elde edilen çıkış üyelik fonksiyonları genellikle “birleşim” (aggregation) operatörleri, Min/Max kullanılarak tek bir birleşik bulanık küme haline getirilir. Böylece, farklı kuralların sistem üzerindeki etkileri tek bir bulanık sonuçta altında toplanır; bu sonuç daha sonra durulaştırma (defuzzification) aşaması ile sayısal çıktıya dönüştürülür. Bu çalışmada, birleştirme işlemi için yaygın olarak kullanılan Mamdani Min/Max çıkarım operatörleri kullanılmıştır (Dubois ve Prade, 1985; Ross, 2005; Akyuz vd., 2016)

2.3.5. Durulaştırma

Sürecin son aşaması bulanık verilerin kesin bir çıktıya dönüştürülmesini içeren durulaştırma aşamasıdır. Mamdani ve Assilian (1975) çıkarım yöntemlerinde durulaştırma aşaması sistemin kural tabanlı bulanık çıkarım mekanizmalarından elde edilen birleşik bulanık çıkış kümesinin tek bir kesin değere dönüştürülmesini ifade etmektedir. Bu aşama, bulanık mantık hesaplamalarında elde edilen sonuçların uygulamada doğrudan kullanılabilmesi için kritik öneme sahiptir (Passino vd., 1998).

Durulaştırma işlemi için Ağırlık Merkezi, Yükseklik Metodu ve Ortalama Maksimum gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında, diğer yöntemlere kıyasla daha fazla matematiksel hesaplama gerektirmesine rağmen en doğru sonuçları vermesinden dolayı genel olarak en yaygın kullanılan durulaştırma yöntemi ağırlık merkezinin (centroid)

hesaplanması yöntemidir (Van Leekwijck ve Kerre, 1999; Ross, 2005). Bu sebeple durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezinin (centroid) hesaplaması tercih edilmiştir.

2.4. Hata Ağacı Analizi Uygulaması

Çalışmanın kapsamını genişletmek amacıyla 9 bölgesel MoU ve 1 ulusal MoU veri tabanları incelenmiştir. Ancak, Karayip MoU, Abuja MoU, Karadeniz MoU ve USCG veri tabanları incelendiğinde bu veri tabanlarının gemilerde tespit edilen uygunsuzlukları, alıkonulmaya yol açan eksiklikler ve alıkonulmaya yol açmayan eksiklikler olarak ayırtırmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle söz konusu 4 MoU çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Ayrıca, Acuerdo de Viña del Mar MoU ve Riyad MoU veri tabanlarına erişim sağlanamadığından, bu iki MoU’da çalışma kapsamı dışında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çalışma Paris MoU, Tokyo MoU, Akdeniz MoU ve Hint Okyanusu MoU veri tabanlarına dayandırılarak gerçekleştirilmiştir.

2.4.1. Hata Ağacının Oluşturulması

Hata ağacı yapısının oluşturulması çalışma bulgularının liman devleti yetkilileri, gemi sahipleri ve işletmecileri, gemi mürettebatı ve bayrak devletleri de dâhil olmak üzere tüm ilgili paydaşlar tarafından kolaylıkla anlaşılmasını hedefleyerek özenle gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yalnızca Paris MoU denetçileri tarafından kullanılan eksiklik listesine bağlı kalınmayarak aynı zamanda çalışmada yer alan diğer MoU’lardaki eksiklik listelerini de dahil eden kapsamlı bir hata ağacı yapısı tasarlanmıştır. İncelenen eksiklik listeleri geniş bir eksiklik türü yelpazesi ortaya koymaktaydı. Çalışmanın amaçları doğrultusunda aynı ekipman ve malzemelere ilişkin eksiklikler birleştirilerek hata ağacının anlaşılabilirliği artırılmış ve uygunluğu sağlanmıştır.

Çalışmanın amacına uygun olarak hata ağacının istenmeyen (tepe) olayı geminin alıkonulması olarak tanımlanmış ayrıca her bir temel olay için ara olaylar belirlenmiş ve temel olaylar sistematik olarak kategorize edilmiştir. Ara olaylar geminin alıkonulmasının nedenleri hakkında kapsamlı bir bakış açısı sunmak ve bir FFMEA analizi gerçekleştirmek amacıyla detaylı olarak analiz edilmiştir. Hata ağacının oluşturulması ve veri toplama sürecinde her temel olayın bağımsız olarak geminin alıkonulmasına yol açabileceği tespit edilmiştir. Bu bağlamda her bir temel olayın daha üst düzey bir olaya neden olma potansiyelini gösterebilmek için hata ağacı yapısı Şekil 6’da gösterildiği gibi “VEYA”

kapıları kullanılarak tasarlanmıştır. Sonuç olarak hata ağacı yapısı boyunca belirlenen temel, ara ve üst olaylar Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. Üst, ara ve temel olayların kısaltması ve açıklamaları

Olay Numarası	Kısaltmalar	Açıklama
Üst Olay	TE	Gemi Tutuklanması
Ara Olay-1	IE1	Sertifikasyon ve Belgelendirme
Ara Olay-2	IE2	Yapısal Koşullar
Ara Olay-3	IE3	Su, Hava Geçirmezlik Durumu
Ara Olay-4	IE4	Acil Durum Sistemleri
Ara Olay-5	IE5	Telsiz Haberleşmesi
Ara Olay-6	IE6	Ekipmanlar Dahil Yük Operasyonları
Ara Olay-7	IE7	Alarmlar
Ara Olay-8	IE8	Can Kurtarma Donanımları
Ara Olay-9	IE9	Seyir Emniyeti
Ara Olay-10	IE10	Yangın Güvenliği
Ara Olay-11	IE11	Denizcilik Çalışma Sözleşmesi 2006, Çalışma Koşulları
Ara Olay-12	IE12	Tahrik ve Yardımcı Makineler
Ara Olay-13	IE13	Diğer
Ara Olay-14	IE14	Çevre Kirliliğinin Önlenmesi
Ara Olay-15	IE15	Çalışma Koşulları
Ara Olay-16	IE16	Yaşam, Dinlenme Alanları, Yiyecek ve İaşe Hizmetleri
Ara Olay-17	IE17	Sağlık Koruması, Tıbbi Bakım, Sosyal Güvenlik
Ara Olay-18	IE18	Marpol Ek I
Ara Olay-19	IE19	Marpol Ek VI
Temel Olay-1	BE1	Personel Sertifikaları, Gemi Sertifikaları, Dokümanlar
Temel Olay-2	BE2	Gemi Adamları İş Sözleşmesi
Temel Olay-3	BE3	Gemi Adamı Donatımında Asgari Emniyet Belgesi ile Belirtilen Donatım
Temel Olay-4	BE4	Gemi Planları, Kitapçıklar, Kılavuzlar
Temel Olay-5	BE5	Seyir Defterleri, Zorunlu Kayıtlar, Dokümanlar
Temel Olay-6	BE6	Uluslararası Emniyetli Yönetim Sistemi (ISM)

Tablo 9'un devamı

Temel Olay-7	BE7	Kapatma Cihazları, Su Geçirmez Kapılar
Temel Olay-8	BE8	Stabilite, Mukavemet, Yükleme Bilgileri ve Araçları
Temel Olay-9	BE9	Dümen Donanımı ve Acil Durum Dümen Kullanımı
Temel Olay-10	BE10	Korozyon, Çatlak, Tekne Hasarı, Operasyonel Hasar
Temel Olay-11	BE11	Balast, Yakıt ve Diğer Tanklar
Temel Olay-12	BE12	Genel Elektrik Tesisatları
Temel Olay-13	BE13	Su Seviye Göstergeleri/ Dedektörleri
Temel Olay-14	BE14	Bölme, Gövde, Güverteler- Yapı
Temel Olay-15	BE15	Kargo Tankı Havalandırması Sistemi
Temel Olay-16	BE16	Diğer (Yapısal Koşullar)
Temel Olay-17	BE17	Aşırı Yükleme
Temel Olay-18	BE18	Fribord Markaları, Yük Hatları
Temel Olay-19	BE19	Yük ve Diğer Ambar Ağızları
Temel Olay-20	BE20	Küpeşte, Lumbarağzı, Yürüme Yolu ve Emniyetli Geçiş Olanakları, Borda İskeleyi
Temel Olay-21	BE21	Kapaklar (Ambar-, Taşınabilir-, Brandalar, vb.)
Temel Olay-22	BE22	Kapılar, Kargo Alanına Açılan Açıklıklar, Lomboz, Pencereler
Temel Olay-23	BE23	Havalandırmalar, Hava Boruları, Muhafazalar Menholler, Boşaltma Kanalları, Kargo
Temel Olay-24	BE24	Açıklıkları/Makineleri/Boşlukları ve Diğer Benzer Açıklıklar
Temel Olay-25	BE25	Kanallar, Girişler ve Çıkışlar
Temel Olay-26	BE26	Genel Anons Sistemi
Temel Olay-27	BE27	Acil Durum Yangın Pompası, Yangın Pompası ve Devreleri
Temel Olay-28	BE28	Acil Durum Aydınlatması, Aküleri ve Şalterleri
Temel Olay-29	BE29	Talimler, Emniyet İstasyonları ve Diğer Kumanda İstasyonları Arasındaki İletişim
Temel Olay-30	BE30	Acil Durum Güç Kaynağı, Acil Durum Jeneratörü
Temel Olay-31	BE31	Gemide Eğitim ve Mürettebat Aşinalığı

Tablo 9'un devamı

Temel Olay-32	BE32	Diğer (Acil Durum Sistemleri)
Temel Olay-33	BE33	MF/HF/VHF Telsiz Kurulumu, INMARSAT Gemi Yer İstasyonu
Temel Olay-34	BE34	EPIRB, VHF EPIRB, SART
Temel Olay-35	BE35	Yedek Enerji Kaynağı
Temel Olay-36	BE36	GMDSS Ekipmanlarının Çalıştırılması, İşletilmesi, Bakımı
Temel Olay-37	BE37	Diğer (Radyo iletişim)
Temel Olay-38	BE38	Yük Operasyonu
Temel Olay-39	BE39	Yük Sabitleme Malzemeleri
Temel Olay-40	BE40	Diğer (Ekipmanlar Dahil Kargo Operasyonları)
Temel Olay-41	BE41	Kazan Alarmı
Temel Olay-42	BE42	Makine Kontrol Alarmları
Temel Olay-43	BE43	İnsansız Sistem-Alarmlar veya Kanıtlar
Temel Olay-44	BE44	Genel Alarm, Yangın Alarmı
Temel Olay-45	BE45	Diğer (Alarmlar)
Temel Olay-46	BE46	Filikalar, Ekipmanlar ve İstifleme
Temel Olay-47	BE47	Kurtarma Botları
Temel Olay-48	BE48	Şişirilebilir Can Salları
Temel Olay-49	BE49	Can Kurtarma Aracının İndirilmesi ve Biniş Düzenlemesi
Temel Olay-50	BE50	Pyrotechnics, Halat Atma Aparatı
Temel Olay-51	BE51	Can yelekleri, Can simitleri, Dalma Giysileri
Temel Olay-52	BE52	Telsiz Can Kurtarma Cihazları, 2 Yönlü İletişim İçin Acil Durum Ekipmanı.
Temel Olay-53	BE53	Operasyonel Hazırlık, Can Kurtarma Araçlarının Çalıştırılması
Temel Olay-54	BE54	Can Kurtaran Araçların Bakımı ve Kontrolleri
Temel Olay-55	BE55	Diğer (Can Kurtarma)
Temel Olay-56	BE56	Pilot Merdivenleri ve Vinçi, Pilot Transfer Düzenlemeleri
Temel Olay-57	BE57	Radar
Temel Olay-58	BE58	Manyetik Pusula, Cayro Pusula

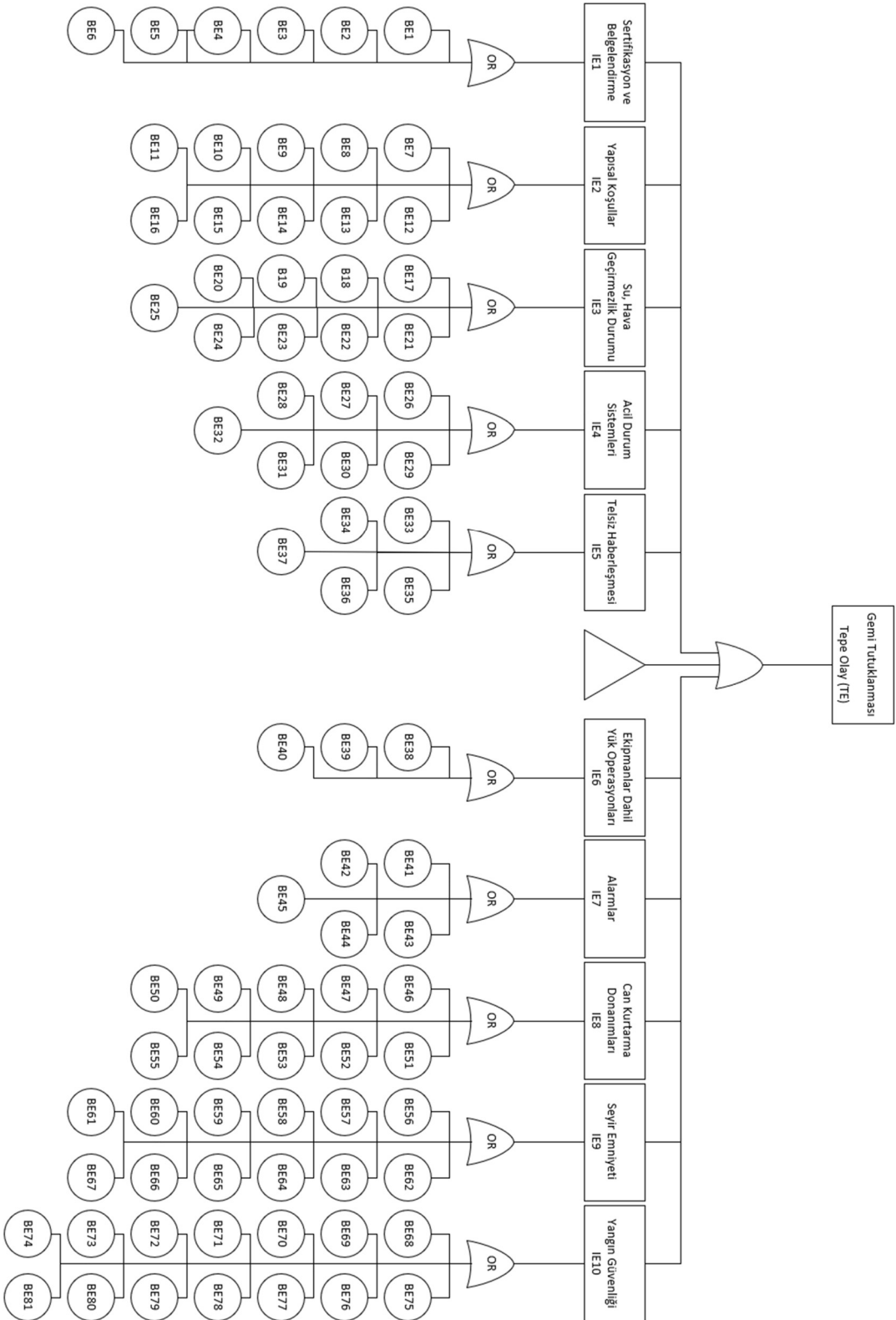
Tablo 9'un devamı

Temel Olay-59	BE59	Işıklar, Şekiller, Ses Sinyalleri, İşaret Lambası
Temel Olay-60	BE60	Sefer Veri Kayıt Cihazı
Temel Olay-61	BE61	Derinlik İskandil Cihazları
Temel Olay-62	BE62	Hız ve Mesafe Göstergesi, Dümen Açısı Göstergesi
Temel Olay-63	BE63	Köprüüstü Seyir Vardiyası Alarm Sistemi
Temel Olay-64	BE64	Haritalar, Elektronik Haritalar
Temel Olay-65	BE65	Denizcilik Yayınları
Temel Olay-66	BE66	Seyir veya Sefer Planı ve Takibi
Temel Olay-67	BE67	Diğer (Navigasyon)
Temel Olay-68	BE68	Yangın Önleme Yapısal Bütünlük
Temel Olay-69	BE69	İnert Gaz Sistemi
Temel Olay-70	BE70	Yangın Kapıları, Bölmeler
Temel Olay-71	BE71	Yangın Tespit ve Alarm Sistemi
Temel Olay-72	BE72	Sabit Yangın Söndürme Sistemi
Temel Olay-73	BE73	Yangınla Mücadele Ekipman ve Araçları
Temel Olay-74	BE74	Uzaktan Kontrol Sistemleri (Açma, Pompalar, Havalandırma, vb.)
Temel Olay-75	BE75	Yangın Durdurucular
Temel Olay-76	BE76	Havalandırma
Temel Olay-77	BE77	Mantolu Yüksek Basınç Hatları ve Yağ Kaçağı Alarmı
Temel Olay-78	BE78	Kaçış Yolları
Temel Olay-79	BE79	Yangından Korunma Sistemleri
Temel Olay-80	BE80	Gemide Yağ Tutulması, Makine Dairesinde Yağ Toplanması
Temel Olay-81	BE81	Diğer (Yangın Güvenliği)
Temel Olay-82	BE82	Tıbbi Uygunluk
Temel Olay-83	BE83	Çalışma, Dinlenme Saatleri ve Kayıtlar
Temel Olay-84	BE84	Yanlış Tarife, Ücretlerin Ödenmemesi
Temel Olay-85	BE85	Diğer (Çalışma Koşulları)
Temel Olay-86	BE86	Temizlik
Temel Olay-87	BE87	Kumanya Miktarı, Kalitesi

Tablo 9'un devamı

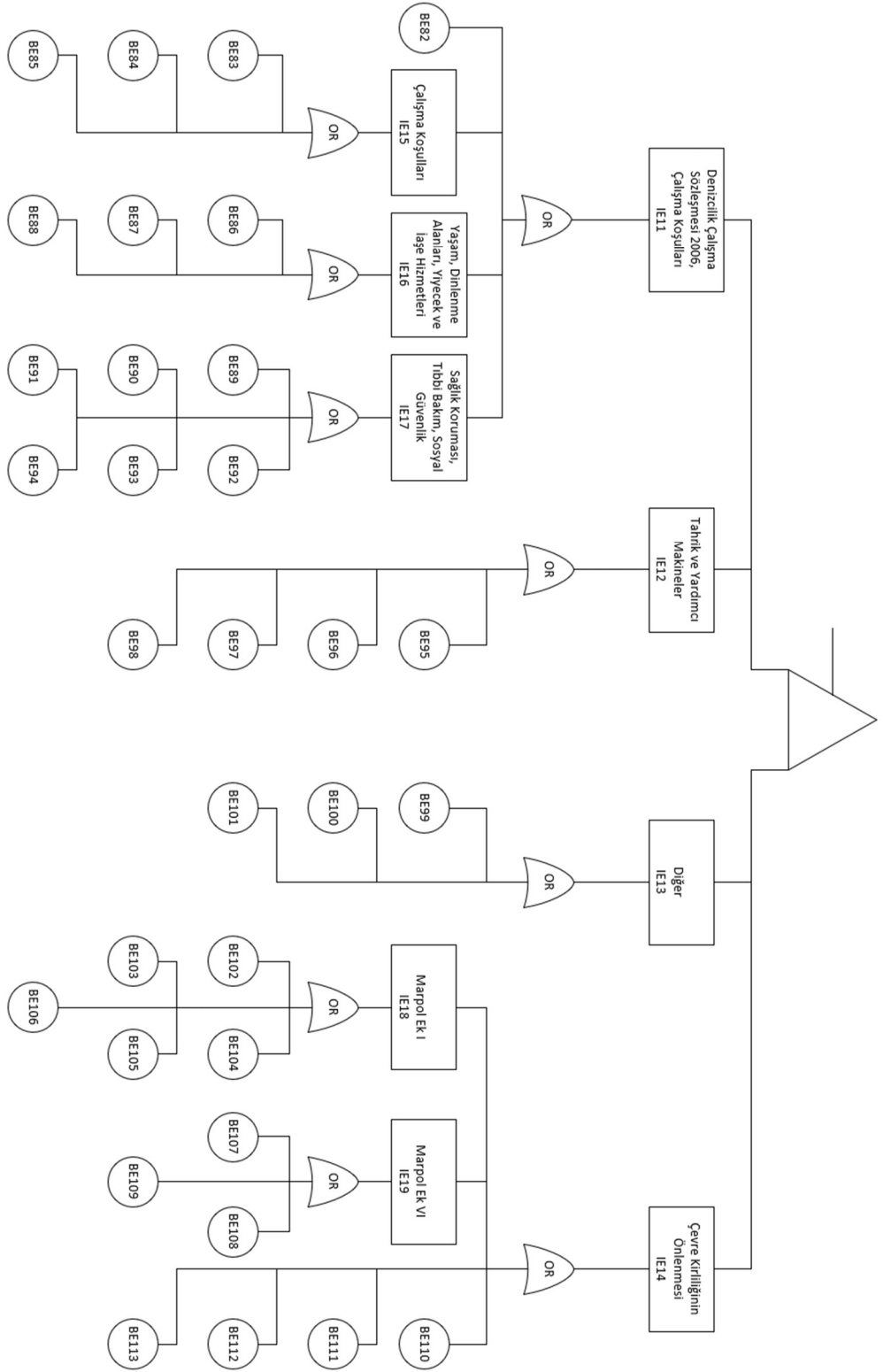
Temel Olay-88	BE88	Sihhi İmkanlar
Temel Olay-89	BE89	Gaz ve Atmosfer Test Cihazları
Temel Olay-90	BE90	Elektrik
Temel Olay-91	BE91	Erişim, Yapısal Özellikler (Gemi)
Temel Olay-92	BE92	Isıtma, İklimlendirme ve Havalandırma
Temel Olay-93	BE93	Aydınlatma
Temel Olay-94	BE94	Diğer (Sağlık Sigortası, Tıbbi Bakım, Sosyal Güvenlik)
Temel Olay-95	BE95	Ana Tahrik Makinesi
Temel Olay-96	BE96	Yardımcı Makine
Temel Olay-97	BE97	Sentine Pompası Düzenlemeleri
Temel Olay-98	BE98	Diğer (Makineler)
Temel Olay-99	BE99	Diğer (SOLAS Operasyonel)
Temel Olay-100	BE100	Diğer (Genel Emniyet)
Temel Olay-101	BE101	Tehlikeli Maddeler
Temel Olay-102	BE102	Yağ Boşaltma İzleme ve Kontrol Sistemi ve 15ppm Alarmı
Temel Olay-103	BE103	Yağ Filtreleme Ekipmanları
Temel Olay-104	BE104	Makine Dairelerindeki Yağ ve Yağlı Karışımlar
Temel Olay-105	BE105	Şüpheli Deşarj İhlali
Temel Olay-106	BE106	Diğer (MARPOL Ek I)
Temel Olay-107	BE107	Marpol Ek II
Temel Olay-108	BE108	Marpol Ek IV
Temel Olay-109	BE109	Marpol Ek V
Temel Olay-110	BE110	Operasyon ve Kullanım Kılavuzu Dahil Yakma Ünitesi
Temel Olay-111	BE111	Kullanılan Yakıtın Sülfür İçeriği
Temel Olay-112	BE112	Diğer (Marpol Ek VI)
Temel Olay-113	BE113	Balast Suyu Yönetimi

Tablo 9'da verilen tepe, ara ve temel olaylar ile oluşturulmuş hata ağacı yapısı Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Hata ağacı yapısı

Şekil 6'nın devamı



2.4.2. Temel Olayların Olasılıklarının Bulunması

Verilerin ön analiz aşamasında gemilerin alıkonulma nedenlerinin çoğunlukla tek bir eksikliğe bağlı olmadığı daha ziyade birden çok eksikliğin kombinasyonundan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte bazı durumlarda ise bir geminin alıkonulması yalnızca tek bir temel olay sonucu gerçekleşmiş olup bu durum çalışmada hem tek bir eksiklikten hem de birçok eksiklikten kaynaklanan tutuklama olaylarını kapsayan bir metodoloji kullanmanın gerekliliğini ortaya koymuştur. Uğurlu ve Çiçek (2022), çatışma kazası raporlarından ve çalışmalardan elde edilen verilerin ışığında kazaların genellikle tek bir neden değil daha ziyade çoklu nedenlerin birleşiminden kaynaklandığını vurgulamıştır. Bu sebeple FTA metodunun en gerçekçi sonuçları sağlayan kaza olasılıklarının kombinasyonunu ortaya koyduğu sonucuna varmışlardır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak yapılan bu çalışmada temel olayların olasılıkları Denklem 12 ve 13'te belirtilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Temel olayın olasılık değeri} = \frac{\text{Temel olayın alıkonulmaya katkı oranı}}{\text{Toplam alıkonulma sayısı} \times \text{Toplam yıl}} \quad (12)$$

bir başka ifade ile,

$$Q_i = \frac{N_i}{(N_T \times T)} \quad (13)$$

burada, Q_i temel olayın olasılık değerini, N_i temel olayın alıkonulmaya katkı oranını, T toplam yılı, N_T toplam alıkonulma sayısını ifade etmektedir.

Her bir temel olayın olasılığını hesaplayabilmek için her bir olay içindeki tüm temel olayların belirlenmesi gerekmektedir. Her bir olay içindeki tüm temel olayların tepe olay üzerindeki etkilerinin eşit olduğu kabul edilerek temel olayın geminin alıkonulmasına katkı oranı, temel olayların her birinin etki değerlerinin toplamı ile belirlenir ve bu da Denklem 14 ile ifade edilir (Uğurlu vd., 2015).

$$\text{Temel olayın alıkonulmaya katkı oranı} = \frac{1}{\text{Temel Olay}_1} + \frac{1}{\text{Temel Olay}_2} \dots + \frac{1}{TO_n} \quad (14)$$

2.4.3. Nicel ve Nitel Analizlerin Uygulanması

Bir hata ağacının nicel analizi tepe olayın gerçekleşme olasılığının hesaplanmasıyla gerçekleştirilir. Bu analizde temel olayların olasılıkları tepe olayın olasılığını hesaplamak için ağaç yapısı boyunca yukarı doğru ilerleyen bir süreçle değerlendirilir (Ugurlu ve Cicek, 2022). Hata ağacının nitel analizi ise aynı anda meydana gelmeleri halinde tepe olayı gerçekleştirecek en küçük temel olaylar kümesi olan minimum kesim kümelerinin belirlenmesiyle gerçekleştirilir (Ruijters ve Stoelinga, 2015). Bu çalışmada hem nicel hem de nitel analiz sonuçları Isograph Reliability Workbench 14.0 yazılımı kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 10'da detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 10. Olayların olasılıkları, frekansları, önem analizleri sonuçları

No.	Olaylar	Q	w	Fussell-Vesely	Barlow-Proshan
1	TE	1.67E-01	1213	-	-
2	IE1	3.66E-02	855	2.19E-01	1.80E-01
3	IE10	3.14E-02	912	1.88E-01	1.92E-01
4	IE4	1.90E-02	521	1.14E-01	1.10E-01
5	IE8	1.68E-02	476	1.01E-01	1.00E-01
6	IE14	1.53E-02	382	9.18E-02	8.05E-02
7	IE3	1.37E-02	362	8.21E-02	7.63E-02
8	IE9	9.12E-03	385	5.47E-02	8.12E-02
9	IE2	6.95E-03	225	4.17E-02	4.74E-02
10	IE11	6.72E-03	235	4.03E-02	4.95E-02
11	IE12	5.13E-03	178	3.07E-02	3.75E-02
12	IE5	2.25E-03	104	1.35E-02	2.19E-02
13	IE7	1.92E-03	64	1.15E-02	1.35E-02
14	IE13	1.08E-03	26	6.46E-03	5.48E-03
15	IE6	8.79E-04	19	5.27E-03	4.01E-03
16	BE6	2.46E-02	553	1.48E-01	1.17E-01
17	BE27	7.78E-03	178	4.67E-02	3.75E-02
18	BE1	7.31E-03	157	4.39E-02	3.31E-02
19	BE46	5.69E-03	137	3.41E-02	2.89E-02
20	BE23	5.60E-03	140	3.36E-02	2.95E-02

Tablo 10'un devamı

21	BE30	5.54E-03	105	3.32E-02	2.21E-02
22	BE75	5.20E-03	125	3.12E-02	2.64E-02
23	BE47	4.95E-03	130	2.97E-02	2.74E-02
24	BE72	4.08E-03	108	2.45E-02	2.28E-02
25	BE102	3.86E-03	68	2.32E-02	1.43E-02
26	BE108	3.78E-03	92	2.27E-02	1.94E-02
27	BE29	3.68E-03	138	2.21E-02	2.91E-02
28	BE74	3.25E-03	97	1.95E-02	2.05E-02
29	BE71	3.02E-03	105	1.81E-02	2.21E-02
30	BE21	2.96E-03	74	1.78E-02	1.56E-02
31	BE103	2.91E-03	86	1.75E-02	1.81E-02
32	BE70	2.88E-03	101	1.73E-02	2.13E-02
33	BE49	2.43E-03	70	1.46E-02	1.48E-02
34	BE73	2.42E-03	77	1.45E-02	1.62E-02
35	BE10	2.25E-03	53	1.35E-02	1.12E-02
36	BE76	2.17E-03	57	1.30E-02	1.20E-02
37	BE95	2.15E-03	72	1.29E-02	1.52E-02
38	BE96	1.99E-03	62	1.19E-02	1.31E-02
39	BE64	1.95E-03	82	1.17E-02	1.73E-02
40	BE81	1.83E-03	55	1.10E-02	1.16E-02
41	BE3	1.55E-03	30	9.30E-03	6.32E-03
42	BE77	1.50E-03	42	9.00E-03	8.85E-03
43	BE80	1.46E-03	38	8.76E-03	8.01E-03
44	BE9	1.43E-03	43	8.58E-03	9.06E-03
45	BE2	1.43E-03	42	8.58E-03	8.85E-03
46	BE79	1.32E-03	37	7.92E-03	7.80E-03
47	BE59	1.24E-03	46	7.44E-03	9.70E-03
48	BE86	1.17E-03	52	7.02E-03	1.10E-02
49	BE53	1.14E-03	28	6.84E-03	5.90E-03
50	BE18	1.09E-03	20	6.54E-03	4.22E-03
51	BE68	1.08E-03	28	6.48E-03	5.90E-03

Tablo 10'un devamı

52	BE78	1.02E-03	37	6.12E-03	7.80E-03
53	BE106	9.95E-04	27	5.97E-03	5.69E-03
54	BE60	9.69E-04	32	5.81E-03	6.75E-03
55	BE65	9.62E-04	52	5.77E-03	1.10E-02
56	BE66	9.56E-04	35	5.74E-03	7.38E-03
57	BE25	9.24E-04	17	5.54E-03	3.58E-03
58	BE83	9.07E-04	21	5.44E-03	4.43E-03
59	BE19	9.06E-04	29	5.44E-03	6.11E-03
60	BE13	8.96E-04	20	5.38E-03	4.22E-03
61	BE48	8.87E-04	35	5.32E-03	7.38E-03
62	BE87	8.86E-04	18	5.32E-03	3.79E-03
63	BE67	8.80E-04	44	5.28E-03	9.28E-03
64	BE4	8.77E-04	42	5.26E-03	8.85E-03
65	BE22	8.77E-04	35	5.26E-03	7.38E-03
66	BE94	8.74E-04	36	5.24E-03	7.59E-03
67	BE112	8.45E-04	19	5.07E-03	4.01E-03
68	BE5	7.97E-04	31	4.78E-03	6.54E-03
69	BE84	7.49E-04	19	4.49E-03	4.01E-03
70	BE35	7.35E-04	28	4.41E-03	5.90E-03
71	BE98	7.19E-04	29	4.31E-03	6.11E-03
72	BE16	6.98E-04	27	4.19E-03	5.69E-03
73	BE1113	6.93E-04	24	4.16E-03	5.06E-03
74	BE109	6.77E-04	28	4.06E-03	5.90E-03
75	BE24	6.70E-04	22	4.02E-03	4.64E-03
76	BE28	6.48E-04	36	3.89E-03	7.59E-03
77	BE31	6.13E-04	29	3.68E-03	6.11E-03
78	BE58	6.10E-04	29	3.66E-03	6.11E-03
79	BE43	6.05E-04	15	3.63E-03	3.16E-03
80	BE33	5.58E-04	27	3.35E-03	5.69E-03
81	BE51	5.52E-04	27	3.31E-03	5.69E-03
82	BE54	4.98E-04	17	2.99E-03	3.58E-03

Tablo 10'un devamı

83	BE11	4.71E-04	22	2.83E-03	4.64E-03
84	BE36	4.69E-04	22	2.81E-03	4.64E-03
85	BE100	4.54E-04	11	2.72E-03	2.32E-03
86	BE39	4.52E-04	6	2.71E-03	1.27E-03
87	BE92	4.46E-04	17	2.68E-03	3.58E-03
88	BE99	4.46E-04	10	2.68E-03	2.11E-03
89	BE41	4.40E-04	13	2.64E-03	2.74E-03
90	BE104	4.36E-04	11	2.62E-03	2.32E-03
91	BE32	4.22E-04	20	2.53E-03	4.22E-03
92	BE42	3.89E-04	16	2.33E-03	3.37E-03
93	BE111	3.88E-04	8	2.33E-03	1.69E-03
94	BE20	3.86E-04	19	2.32E-03	4.01E-03
95	BE56	3.86E-04	15	2.32E-03	3.16E-03
96	BE88	3.83E-04	23	2.30E-03	4.85E-03
97	BE62	3.70E-04	13	2.22E-03	2.74E-03
98	BE85	3.66E-04	5	2.20E-03	1.05E-03
99	BE7	3.44E-04	17	2.06E-03	3.58E-03
100	BE89	3.16E-04	15	1.90E-03	3.16E-03
101	BE105	3.05E-04	6	1.83E-03	1.27E-03
102	BE38	3.03E-04	7	1.82E-03	1.48E-03
103	BE12	2.88E-04	19	1.73E-03	4.01E-03
104	BE63	2.86E-04	14	1.72E-03	2.95E-03
105	BE37	2.80E-04	15	1.68E-03	3.16E-03
106	BE110	2.77E-04	10	1.66E-03	2.11E-03
107	BE52	2.76E-04	18	1.66E-03	3.79E-03
108	BE57	2.72E-04	9	1.63E-03	1.90E-03
109	BE44	2.69E-04	11	1.61E-03	2.32E-03
110	BE26	2.67E-04	15	1.60E-03	3.16E-03
111	BE17	2.66E-04	6	1.60E-03	1.27E-03
112	BE97	2.66E-04	15	1.60E-03	3.16E-03
113	BE61	2.42E-04	14	1.45E-03	2.95E-03

Tablo 10'un devamı

114	BE93	2.38E-04	13	1.43E-03	2.74E-03
115	BE45	2.18E-04	9	1.31E-03	1.90E-03
116	BE90	2.12E-04	6	1.27E-03	1.27E-03
117	BE34	2.08E-04	12	1.25E-03	2.53E-03
118	BE8	1.94E-04	13	1.16E-03	2.74E-03
119	BE14	1.88E-04	6	1.13E-03	1.05E-03
120	BE15	1.88E-04	5	1.13E-03	1.27E-03
121	BE55	1.84E-04	7	1.10E-03	1.48E-03
122	BE101	1.76E-04	5	1.06E-03	1.05E-03
123	BE69	1.72E-04	5	1.03E-03	1.05E-03
124	BE50	1.64E-04	7	9.84E-04	1.48E-03
125	BE91	1.60E-04	9	9.60E-04	1.90E-03
126	BE107	1.30E-04	3	7.80E-04	6.32E-04
127	BE40	1.24E-04	6	7.44E-04	1.27E-03
128	BE82	1.15E-05	1	6.90E-05	2.11E-04

2.5. Hata Modu ve Etki Analizi Uygulaması

Bu çalışmada, hata ağacı analizi ile belirlenen ara olayların olasılıkları oluşum (O) değerlerine dönüştürülerek, her bir ara olay için uzmanlar tarafından yapılan şiddet (S) ve tespit edilemezlik (D) değerlendirmeleri ile hibrit edilmiştir. Tablo 10'da verilen ara olayların olasılık değerlerini FFMEA oluşum değerlerine dönüştürmek için Tablo 11'de belirtilen değerler kullanılmıştır. Dönüşüm sonucunda elde edilen derecelendirme değerleri FFMEA metodu için oluşum (O) değerleri olarak kullanılmaktadır (Hidayat ve Kholil, 2018; Mutlu ve Altuntas, 2019; Mutlu ve Altuntas, 2019a; Shafiee vd., 2019).

Tablo 11. Oluşum değerlerine karşılık gelen olasılık değerleri

Olasılık	Oluşum Derecesi
10^{-1}	10
$5 \cdot 10^{-2}$	9
$2 \cdot 10^{-2}$	8

Tablo 11'in devamı

$1*10^{-2}$	7
$5*10^{-3}$	6
$2*10^{-3}$	5
$1*10^{-3}$	4
$5*10^{-4}$	3
$1*10^{-4}$	2
$1*10^{-5}$	1

Çalışmada, belirlenmiş temel olayların sayısının çokluğu sebebi ile her bir temel olayın ayrı ayrı uzman değerlendirmesine tabi tutulması sürecin karmaşıklığını arttırmakta ve değerlendirmelerde öznellik payının yükselmesine yol açabilmektedir. Bu bağlamda, tüm temel olayların tek tek uzmanlar tarafından değerlendirmesi yerine temel olayların bir araya gelerek oluşturduğu ara olayların değerlendirilmesinin sistemin genel risk profilini değerlendirmede daha uygun olacağı öngörülmüştür. Ara olaylar temel olayların ortak etkilerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini özetleyerek daha objektif veriler elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle uzmanların yalnızca ara olaylar üzerinden değerlendirme yapmaları sağlanarak hem uzman yükü azaltılmış hem de değerlendirme sürecinde elde edilen sonuçların öznelliği azaltılarak sonuçların genellenebilirliği ve güvenilirliği artırılmıştır.

Anket verileri, Google Formlar ile oluşturulan ve sektör uzmanlarına doldurmaları için sunulan bir ankete dayanarak toplandı. Yüz yüze görüşmeler veya çevrimiçi anketler yoluyla karar verici uzmanlardan ara olayların Oluşum (O), Şiddet (S) ve Tespit edilemezlik (D) derecelerini belirlemeleri istendi. Bu amaçla yapılan anket toplamda 12 sektör uzmanına uygulanmıştır. Anket sonuçlarının güvenilirlik analizi yapıldığında en yüksek güvenilirlik değerine sahip yedi anket RÖS değerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Anketlerin güvenilirliği Cronbach's Alpha değeri üzerinden test edilmiştir. Cronbach's Alpha değeri uzmanların değerlendirmelerinde tutarlılık ve güvenilirlik sağladığını göstererek elde edilen verilerin analiz ve yorumlamaya uygunluğunu ortaya koymaktadır. Bu değer, "0" ile "1" arasında değişiklik göstermekte olup Cronbach's Alpha değeri 0,7 üzerindeki sonuçlar için ankette belirtilen sorulara verilen yanıtların güvenilirlik açısından uygun olduğu literatürce kabul edilmektedir (Gliem ve Gliem, 2003; Tavakol ve Dennick, 2011). Tablo 12'de

sunulduğu üzere SPSS Statistics 22 programı kullanılarak elde edilen Cronbach's Alpha değerleri anket güvenilirliğinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar belirlenen 7 anketin risk değerlendirme sürecinde güvenilir bir araç olarak kullanılabileceğini ve elde edilen verilerin analiz ile yorumlamaya uygun olduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 12. Güvenirlik analizi sonuçları

Cronbach's Alpha Değeri	
Oluşum	0,970
Şiddet	0,968
Tespit Edilemezlik	0,989

Tablo 12’de belirtilen güvenirlik analizi sonuçlarına göre bu çalışmada kullanılan anketlerin uzman profilleri Tablo 13’te sunulmuştur.

Tablo 13. Uzman profilleri

Mesleki Pozisyon veya Ünvan	Yeterlilik	Eğitim Seviyesi	Toplam Deniz Hizmeti	Toplam Kara Hizmeti
Akademisyen	Uzak yol Kaptanı	Yüksek Lisans	7	14
Akademisyen	Uzak yol Vardiya Zabiti	Yüksek Lisans	7	2
Uzak yol Birinci Zabit	Uzak yol Birinci Zabit	Lise	19	0
Uzak yol Birinci Zabit	Uzak yol Birinci Zabit	Ön Lisans Derecesi	20	13
Uzak yol Birinci Zabit	Uzak yol Birinci Zabit	Lisans Derecesi	8	0
Uzak yol Kaptanı	Uzak yol Kaptanı	Lisans Derecesi	13	0
Uzak yol Başmühendisi	Uzak yol Başmühendisi	Ön Lisans Derecesi	10	0

Anket sonuçlarına göre her bir ara olay için uzmanların yaptıkları dilsel değerlendirmeler Tablo 14’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 14. Uzman görüşlerinin sayısal karşılıkları

Ara Olaylar	Uzman 1		Uzman 2		Uzman 3		Uzman 4		Uzman 5		Uzman 6		Uzman 7	
	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D
IE1	YO	YK	DY	ÇD	DO	DO	ÇD	ÇD	D	ÇD	DO	YO	DO	DO
IE2	Y	D	Y	ÇD	O	YO	D	ÇD	ÇD	D	DO	DY	DY	DY
IE3	O	D	Y	D	YO	O	D	ÇD	O	O	YO	YO	O	O
IE4	ÇY	YK	Y	YK	DY	DO	YK	YK	YD	ÇD	DY	O	O	O
IE5	O	ÇD	DY	ÇD	DO	DO	YK	YK	D	ÇD	Y	YO	O	O
IE6	YO	D	YD	D	DO	DO	D	ÇD	YD	DO	YO	YO	O	YO
IE7	ÇY	YK	YO	YK	O	DO	YK	YK	D	ÇD	ÇY	O	YO	YO
IE8	Y	YK	Y	ÇD	O	O	YK	YK	D	D	ÇY	YO	O	O
IE9	DO	YK	O	ÇD	DO	DO	YK	YK	D	D	ÇY	DO	O	O
IE10	ÇY	YK	O	ÇD	DO	DO	YK	ÇD	DO	ÇD	ÇY	O	O	O
IE11	DO	YK	DO	ÇD	DY	DO	ÇD	ÇD	D	ÇD	YO	ÇY	O	O
IE12	Y	D	YD	ÇD	YD	YD	YK	YK	YO	O	DY	O	O	O
IE13	O	ÇD	D	ÇD	DO	YD	ÇD	ÇD	DO	DO	ÇY	ÇY	YO	YO
IE14	YO	D	O	ÇD	Y	DO	YK	ÇD	YD	D	ÇY	DY	O	O

Tablo 14’te verilen değerlerin karşılıkları YK- Yok, ÇD- Çok Düşük, D- Düşük, YD- Yüksek Düşük, DO- Düşük Orta, O- Orta, YO- Yüksek Orta, DY- Düşük Yüksek, Y-Yüksek, ÇY- Çok Yüksek şeklindedir.

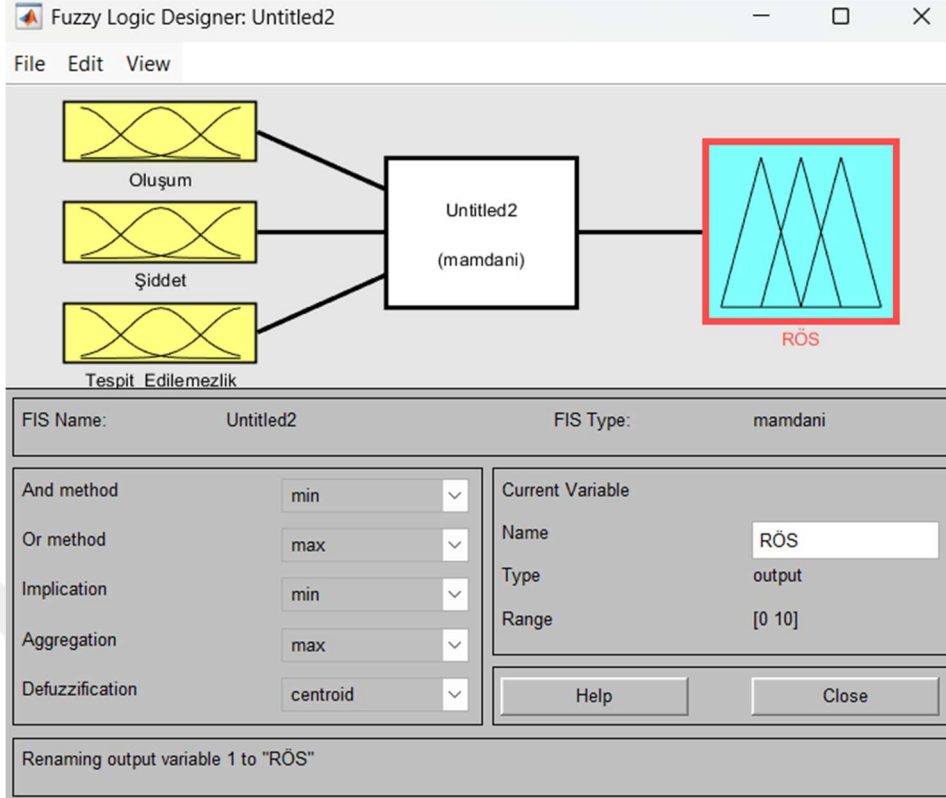
Uzman görüşlerinin bulanık FMEA ile analizi geleneksel FMEA’nın potansiyel sınırlamalarını aşmak ve daha etkili bir analiz sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analizler, FMEA tekniği için bulanık mantık tasarım kutusu ile MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık tasarım kutusunun tasarımı Şekil 7’de gösterildiği gibi üç girdi değişkeni (meydana gelme (O), şiddet (S), tespit edilemezlik (D)) ve bir çıktı değişkeni (RÖS) içermektedir. Bu çerçevede O, S ve D girdileri Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da verildiği gibi 5 seviyeli üçgen bulanık derecelendirme yöntemi ile değerlendirilirken RÖS çıktısı ise Şekil 11’de belirtilen 10 seviyeli üçgen bulanık derecelendirme yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir (Kumru ve Kumru, 2013; Goksu ve Arslan, 2023). Ayrıca, girdi dilsel ifadelerine karşılık gelen bulanık sayılar Tablo 15’te ve çıktı dilsel ifadelerine karşılık gelen bulanık sayılar Tablo 16’da sunulmuştur.

Tablo 15. Girdi dilsel ifadelerine karşılık gelen bulanık sayılar

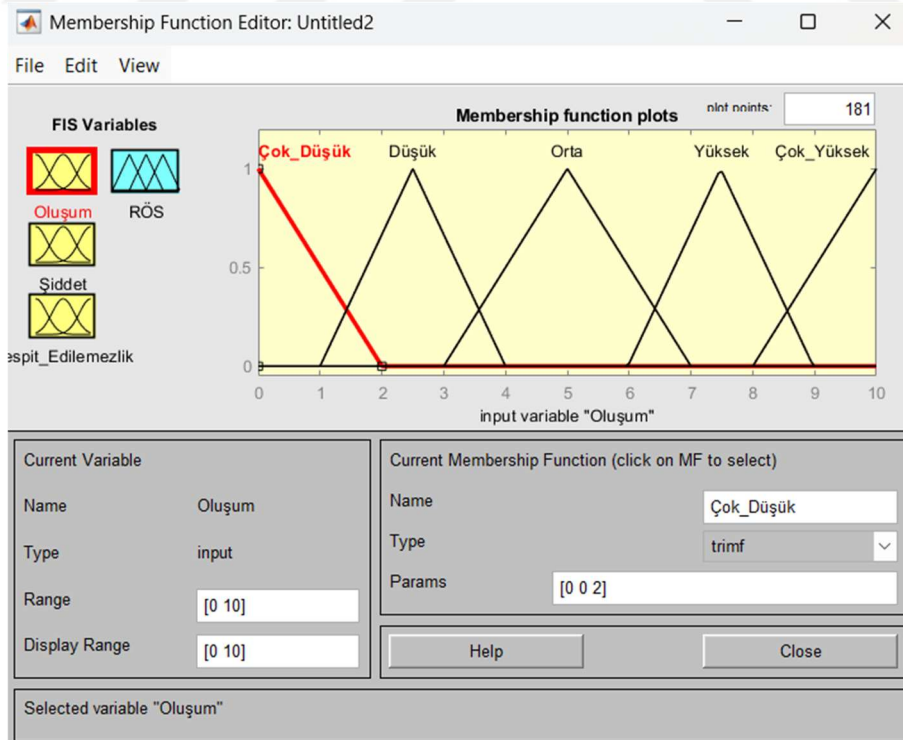
Dilsel ifadeler Bulanık sayılar	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Olasılık	(0, 0, 2)	(1, 2.5, 4)	(3, 5, 7)	(6, 7.5, 9)	(8, 10, 10)
Şiddet	(0, 0, 2)	(1, 2.5, 4)	(3, 5, 7)	(6, 7.5, 9)	(8, 10, 10)
Tespit Edilemezlik	(0, 0, 2)	(1, 2.5, 4)	(3, 5, 7)	(6, 7.5, 9)	(8, 10, 10)

Tablo 16. Çıktı dilsel ifadelerine karşılık gelen bulanık sayılar

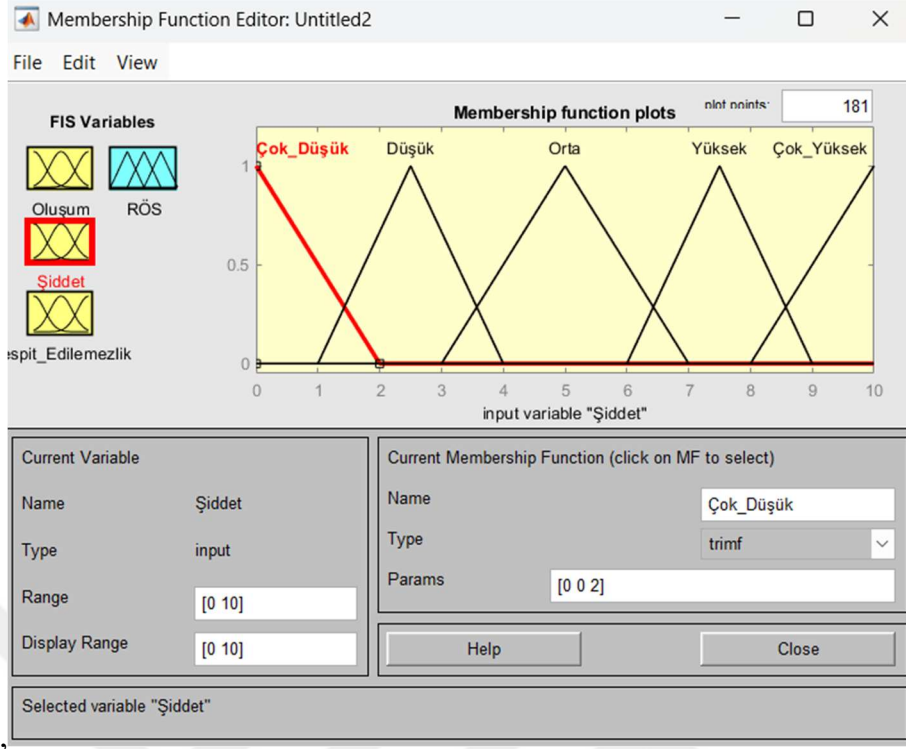
Dilsel ifadeler Bulanık sayılar	Yok	Çok Düşük	Düşük	Yüksek Düşük	Düşük Orta
RÖS	(0, 0, 2)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)
Dilsel ifadeler Bulanık sayılar	Orta	Yüksek Orta	Düşük Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
RÖS	(5, 6, 7)	(6, 7, 8)	(7, 8, 9)	(8, 9, 10)	(9, 10, 10)



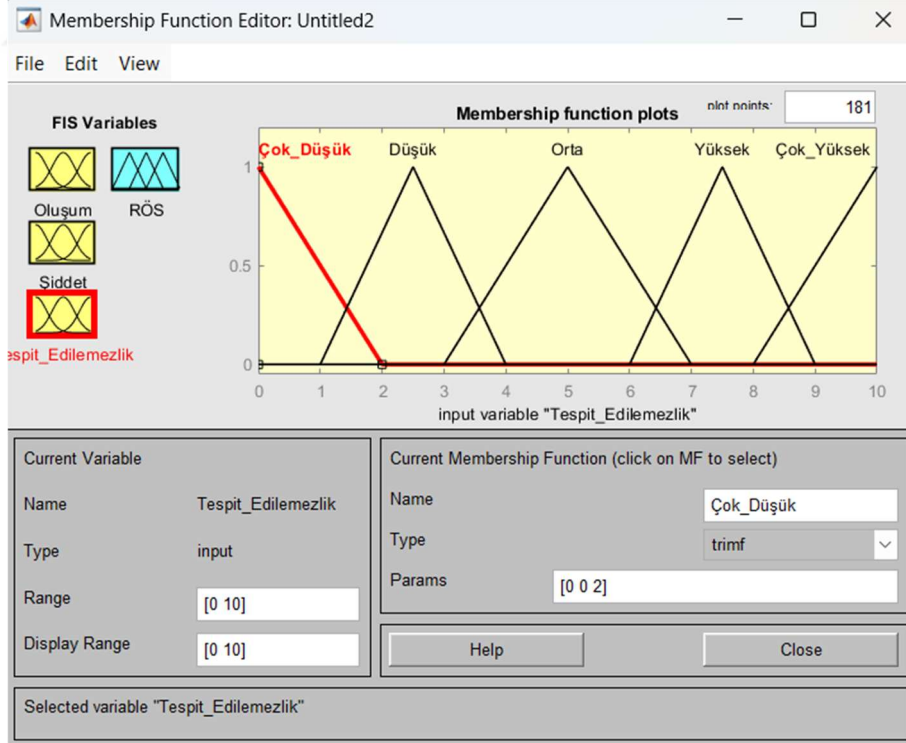
Şekil 7. Bulanık mantık tasarım kutusu



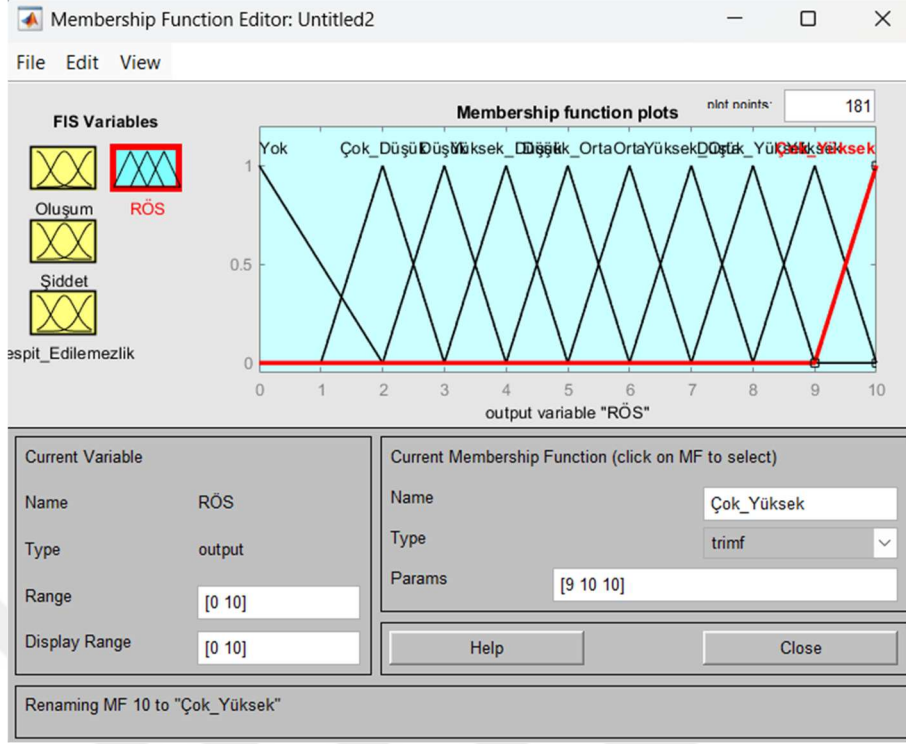
Şekil 8. Oluşum için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu



Şekil 9. Şiddet için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu



Şekil 10. Tespit edilemezlik için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu



Şekil 11. RÖS sayısı için bulanık derecelendirme ve üyelik fonksiyonu

Bulanık mantık kurallarının oluşturulmasında, en yüksek skorun (15) “Çok Yüksek” sınıfına, en düşük skorun (3) ise “Çok Düşük” sınıfına karşılık gelmesi temel ilke olarak benimsenmiştir. Bu bağlamda, 15 skoru ile 3 skoru arasında kalan 12 puanlık skor aralığının eşit olarak bölünmesi yoluyla her bir kural için RÖS hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, kural tabanlarının sistematik ve tutarlı bir şekilde oluşturulmasını sağlamış ve sonuçlar Şekil 12’de sunulan örnek kural gösterimi ile atanmıştır. Tüm kural sonuçlarının gösterilmesini sağlayan yüzey görünümü Şekil 13’te sunulmuştur.

Rule Editor: MATLAB

File Edit View Options

1. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Çok_Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Çok_Düşük) then (RÖS is Y
 2. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Çok_Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Düşük) then (RÖS is Çok_Di
 3. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Çok_Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Orta) then (RÖS is Düşük) (1
 4. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Çok_Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Yüksek) then (RÖS is Düşük
 5. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Çok_Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Çok_Yüksek) then (RÖS is Y
 6. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Çok_Düşük) then (RÖS is Çok_Di
 7. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Düşük) then (RÖS is Düşük) (1
 8. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Orta) then (RÖS is Düşük) (1
 9. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Yüksek) then (RÖS is Yüksek_Dü
 10. If (Oluşum is Çok_Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Tespit_Edilemezlik is Çok_Yüksek) then (RÖS is Düşü

If Oluşum is Çok_Düşük and Şiddet is Çok_Düşük and Tespit_Edilemezlik Çok_Düşük Then RÖS is Yok

Orta
Yüksek
Düşük
Çok_Yüksek
none

not

Çok_Düşük
Düşük
Orta
Yüksek
Çok_Yüksek
none

not

Çok_Düşük
Orta
Çok_Yüksek
Düşük
Yüksek
none

not

Çok_Düşük
Düşük
Yüksek_Düşük
Düşük_Orta

not

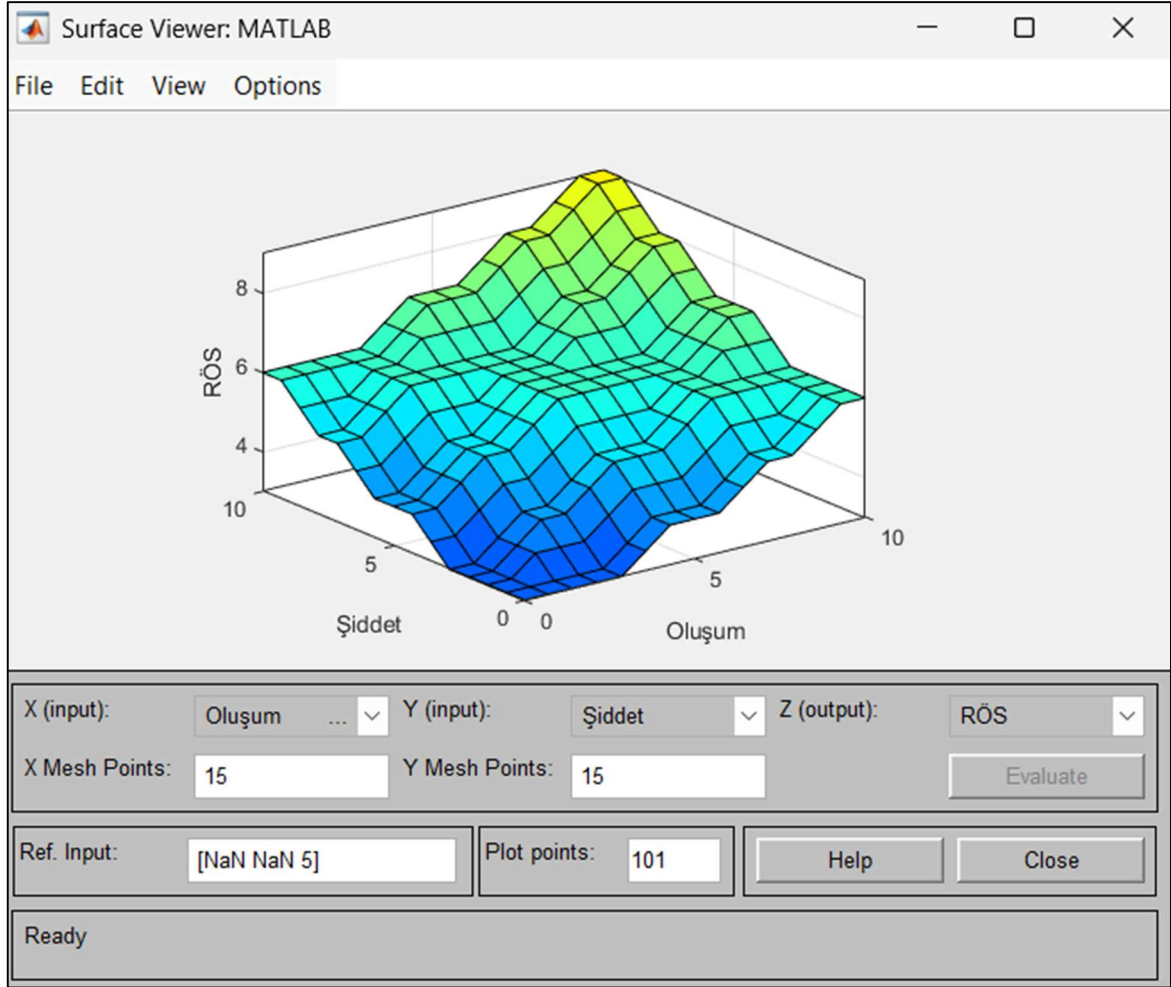
Connection
☐ or
☒ and

Weight:
 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

FIS Name: MATLAB Help Close

Şekil 12. Bulanık mantık kuralları



Şekil 13. Kural yüzey görünümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

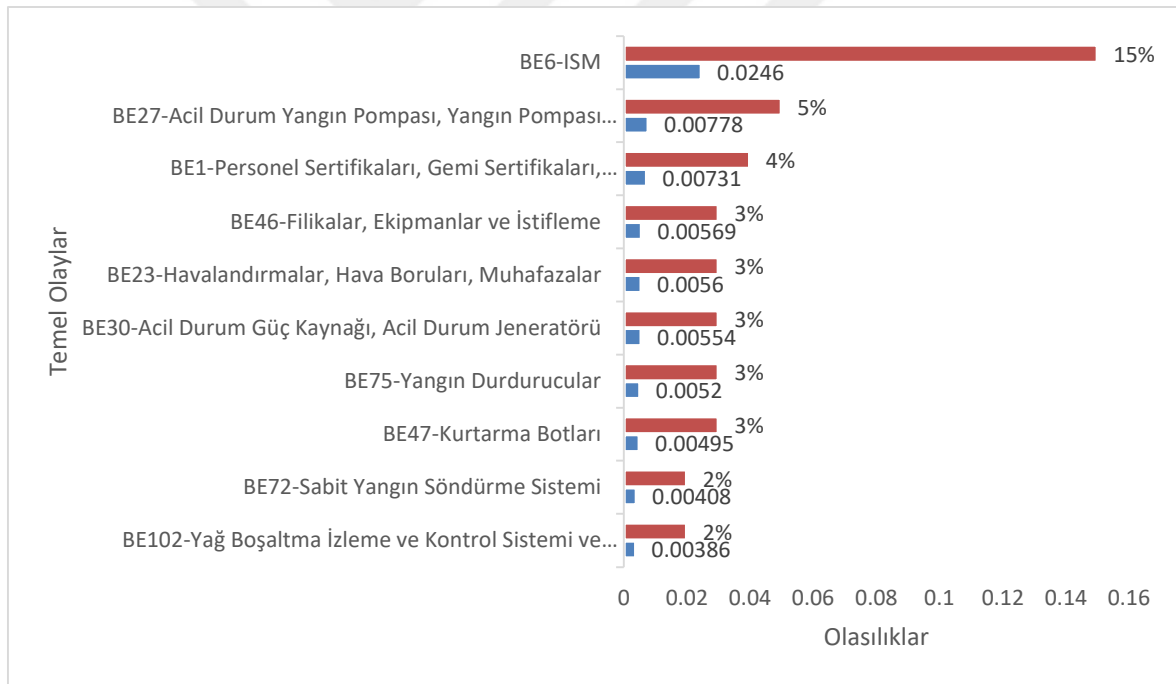
Bu yüksek lisans tez çalışmasında, 1 Ocak 2023 ile 31 Temmuz 2023 tarihleri arasında Paris MoU, Tokyo MoU, Akdeniz MoU ve Hint Okyanusu MoU kapsamında alıkonulan toplam 1.213 geminin alıkonulmasına neden olan eksiklikler ayrıntılı olarak incelenerek gemi alıkonulmalarının risk analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle söz konusu gemilerin alıkonulmasına neden olan eksiklikler belirlenmiş ve bu eksikliklerin bir araya gelerek oluşturdukları ara olaylar tanımlanmıştır. Temel olaylar ve temel olayların bir araya gelerek oluşturdukları ara olayların olasılıklarının belirlenmesi için FTA yöntemi uygulanmıştır. FTA yöntemine ek olarak ara olaylar içinde sektör uzmanları tarafından şiddet ve tespit edilemezlik kriterlerine ilişkin değerlendirilmeler gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise gemi alıkonulmalarına sebep olan eksikliklerin önceliklendirilmesinin sağlanması amacıyla RÖS hesaplanması için FMEA yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, FTA-FMEA hibrit yönteminin tercih edilmesindeki temel amaç, FTA'nın yalnızca olasılık boyutlu değerlendirme yapması ve olasılık dışındaki tüm faktörler için özel bir yaklaşım benimsemeden, tüm olasılık değerlerini şiddet ve tespit edilemezlik açısından eşit olarak değerlendirmesidir (Smith, 2021). Ancak, olay sonuçlarının şiddeti her zaman aynı olmamakla birlikte bu yaklaşım olayların tespit edilemezlik düzeyini de dikkate almamaktadır. Öte yandan FMEA metodu ise sadece uzman görüşlerine dayalı bir analiz imkânı sunma kısıtlamasına sahip olsa da olasılıkların yanı sıra şiddet ve tespit edilemezlik boyutlarını da değerlendirme imkânı sunmaktadır. Sonuç olarak, bu yüksek lisans tez çalışması her iki yöntemin sınırlamalarını aşmak ve daha kapsamlı bir analiz elde etmek amacıyla FTA ve FMEA'nın hibrit kullanılmasını önermektedir. FTA'nın sınırlama alanları ile tamamlanan FMEA'nın, şiddet ve tespit edilemezlik boyutuyla yaklaşımı daha kapsamlı ve güvenilir bir hata analizi süreci ortaya koymaktadır.

3.1. Hata Ağacı Analizi Sonuçları

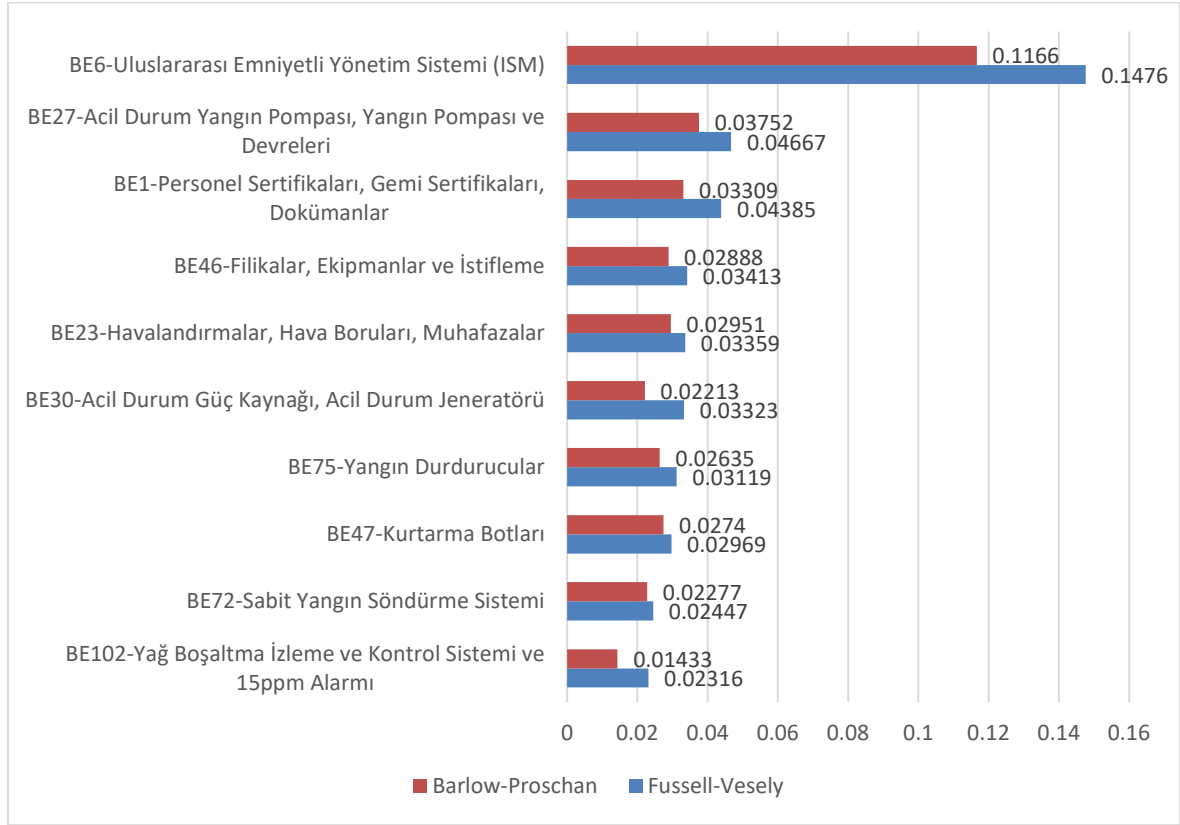
Bu çalışmada, başlangıç olaylarının olasılıklarının Isograph Reliability Workbench 14.0 programı kullanılarak yapılan analizi sonucunda, TE (Geminin Alıkonulması) olasılığı 0,1667 (%16) olarak hesaplanmıştır. Bu değer genel olarak bir geminin denete tabi tutulması sonucunda alıkonulma olasılığının yaklaşık %16 olduğunu ifade etmektedir.

Temel olayların olasılıkları incelendiğinde tepe olay olan geminin alıkonulması üzerinde en çok etkiye sahip olan on temel olay Şekil 14’te sunulmuştur. Şekil 14’e göre en dikkat çekici bulgu, BE6-ISM’nin 0,0246 (%15) başlangıç olasılığı ile diğer tüm temel olaylardan belirgin bir şekilde ayrılması ve gemi alıkonulma olasılığının önemli bir bölümünü tek başına sağlamasıdır. Diğer tüm eksiklikler incelendiğinde olasılık değerleri arasında küçük farklar bulunmakta olup genel olarak benzer olasılık oranına sahip oldukları ifade edilebilir. Literatür ile uyumlu olarak ISM eksikliklerinin birinci sırada yer alması ISM’e ilişkin uygulama veya uyum sorunlarının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu durum denizcilik sektöründe gemilerin ISM’e uygunluk konusunda daha titiz davranmaları gerektiğini eksikliklerin giderilmesi ve iyileştirme çalışmalarının önceliklendirilerek gemi tutuklanmalarında ISM’in kritik rolüne dikkat edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Chen vd., 2019; Şanlıer, 2021; Chuah vd., 2022; Chen vd., 2022; Zhu vd., 2023).



Şekil 14. En yüksek 10 temel olay olasılığı

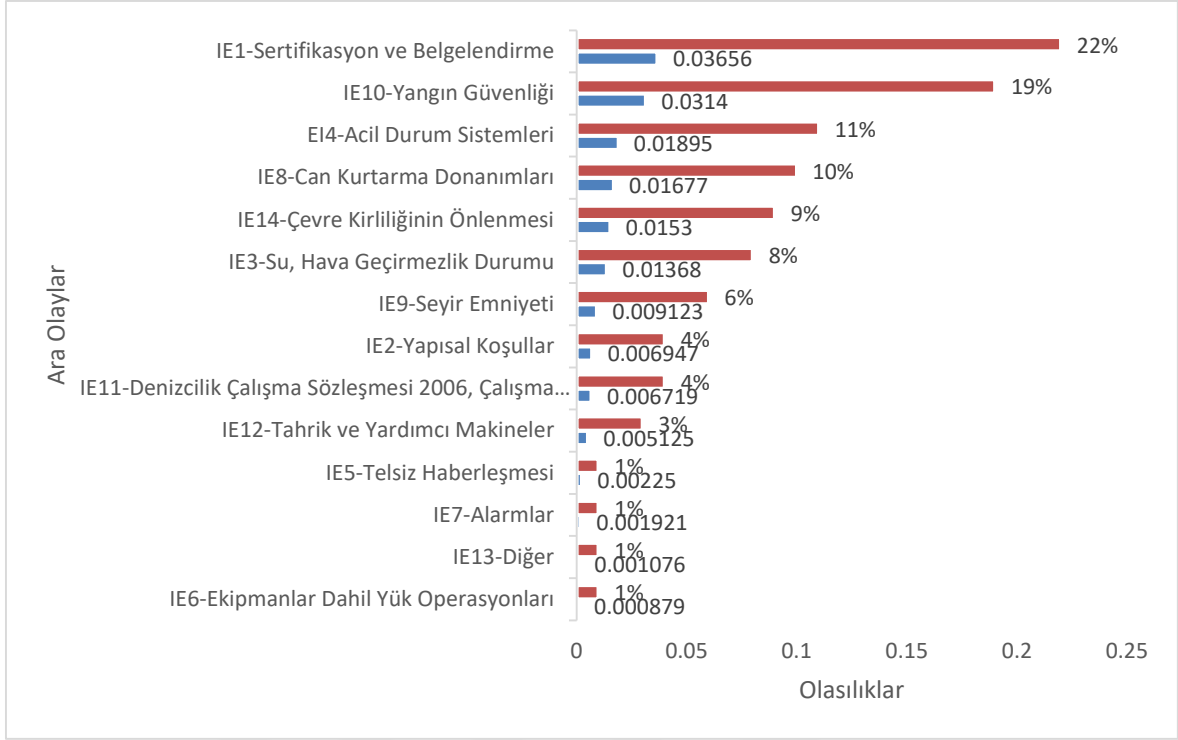
FTA metodunun yapısı gereği nicel analiz olayların yalnızca olasılık hesaplamalarını gerçekleştirmekle kalmayıp aynı zamanda bu olayların önem analizlerini de yaparak olayların önem sıralamalarını açığa çıkarır. Tüm temel olaylar için yapılan önem analizi sonuçları Tablo 10’da sunulmuş iken en yüksek önem değerine sahip ilk on temel olay için sonuçlar Şekil 15’te irdelenmiştir.



Şekil 15. En yüksek 10 önem analizi sonucu

Şekil 15'te gösterildiği üzere Fussell-Vesely önem analizi sonuçları Şekil 14'te verilen olasılık sıralaması ile tam uyum göstermektedir. Ancak yine Şekil 15'te verilen ve olayların frekanslarını da dikkate alan Barlow-Proschan önem analizine göre sıralama incelendiğinde büyük değişiklikler olmasa da bazı eksikliklerin sıralamada daha öne çıktığı gözlemlenmektedir. Bu ufak değişikliklere rağmen ISM'in yine birinci sırada yer alması onun yalnızca sık meydana gelen bir eksiklik olmadığını aynı zamanda ilk oluşma olasılığı en kuvvetli eksiklik olduğunu ve böylece meydana geldiğinde gemi tutuklanması gibi kritik sonuçlara yol açma potansiyelinin de yüksek olduğunu göstermektedir.

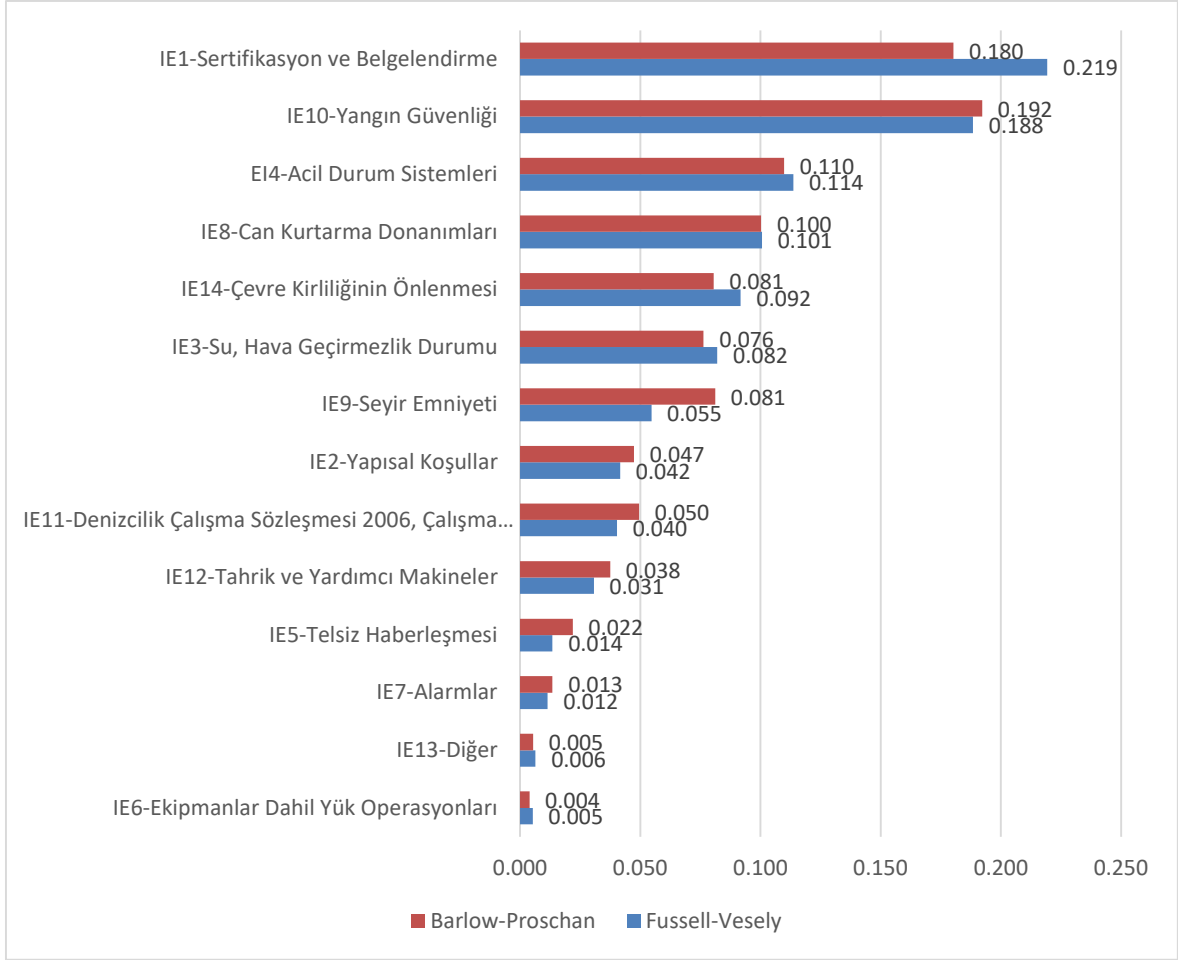
Bununla birlikte gemilerin alıkonulma nedenlerinin değerlendirilmesi yalnızca temel olayların değerlendirilmesi ile kalmamakta aynı zamanda temel olayları kapsayan ara olaylar düzeyinde de ele alınmaktadır. Böylece gemilerin alıkonulmasına neden olan ara olay olasılıkları Şekil 16'da sunularak en yüksekten en düşüğe doğru sıralanmıştır.



Şekil 16. Ara olay olasılıkları

Şekil 16’da sunulan bulgulara göre, “Sertifikasyon ve Belgelendirme”, “Yangın Güvenliği” ve “Acil Durum Sistemleri” gibi ilk üç sıradaki eksikliklerin tüm tutuklanma vakalarının %52’sini kapsaması ve “Can Kurtarma Donanımları” ile “Çevre Kirliliğinin Önlenmesine” ilişkin eksikliklerinin de eklenmesiyle, ilk beş eksikliğin toplam tutuklanma olasılıklarının %71’ini kapsaması oldukça ilgi çekicidir. Bu sonuçlar gemi alıkonulmasına yol açan eksikliklerin kuvvetle ilk beş eksiklik üzerinden meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca “Telsiz Haberleşmesi”, “Alarmlar”, “Diğer” ve “Ekipmanlar Dahil Yük Operasyonları” eksikliklerinin literatür sonuçları ile uyumlu olarak gemi tutuklanmalarında en az olasılığa sahip eksiklikler olduğu söylenebilir.

Ara olayların da temel olaylar ile benzer şekilde yalnızca meydana gelme olasılıkları üzerine değerlendirilmeleri yetersiz bulunmuştur. Bu nedenle, Fussell-Vesely analizine ek olarak literatürde yaygın olarak kullanılan, frekans etkisini hesaba katan bir teknik olan Barlow-Proschan yöntemi kullanılarak ikinci bir önem analizi gerçekleştirilmiştir. Ara olayların önem analizine ilişkin sıralama Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Ara olayların önem analizleri

Barlow-Proschan ve Fussell-Vesely yöntemlerinin her ikisi de genel olarak benzer olayları önceliklendirirken olayların frekansı göz önünde bulundurulduğunda bazı belirgin farklılıklarda ortaya çıkmaktadır. Şekil 17’de sunulduğu gibi önem analizleri sonuçlarına göre, Fussell-Vesely analizinde “Sertifikasyon ve Belgelendirme” ara olayındaki eksiklikler en kritik eksiklikler olarak görülürken Barlow-Proschan analizi sonuçlarına göre “Yangın Güvenliği” geminin alıkonulmasının en önemli eksikliği olarak ortaya çıkmaktadır. Bu iki analiz yöntemi arasındaki sıralama farklılıkları her iki ara olay eksikliğinin de neredeyse eşit derecede önemli olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Başka bir deyişle “Sertifikasyon ve Belgelendirme” eksiklikleri ile “Yangın Güvenliği” eksikliklerinin aynı anda gerçekleşmesi ciddi ölçüde gemi tutuklanması durumuna yol açacağı yorumu yapılabilmektedir.

3.2. Hata Türü ve Etki Analizi Sonuçları

Çalışmanın metoduna uygun olarak Şekil 16’da verilmiş olan FTA yöntemi ile elde edilen olasılık değerleri Tablo 11’de verilen referans değerler ile uyumlu olarak oluşum derecelendirmelerine dönüştürülmüştür. Bulunan oluşum değerleri ile Tablo 14’te belirtilmiş olan şiddet ve tespit edilemezlik uzman değerlendirmeleri doğrultusunda elde edilen değerlerin, MATLAB programında bulanık mantık analizi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, bulunan Risk Öncelik Sayıları (RÖS), Tablo 17’de sunulmuştur.

Tablo 17. Ara olayların risk öncelik sayıları

Önceliği	Kısaltmalar	Eksiklikler	RÖS
1	IE10	Yangın Güvenliği	6,57
2	IE1	Sertifikasyon ve Belgelendirme	6,36
3	IE8	Can Kurtarma Donanımları	6,35
4	IE3	Su, Hava Geçirmezlik Durumu	6,35
5	IE14	Çevre Kirliliğinin Önlenmesi	6,18
6	IE4	Acil Durum Sistemleri	6,15
7	IE2	Yapısal Koşullar	6
8	IE5	Telsiz Haberleşmesi	6
9	IE6	Ekipmanlar Dahil Yük Operasyonları	6
10	IE9	Seyir Emniyeti	6
11	IE11	Denizcilik Çalışma Sözleşmesi 2006, Çalışma Koşulları	6
12	IE12	Tahrik ve Yardımcı Makineler	6
13	IE13	Diğer	5,5
14	IE7	Alarmlar	5,35

3.3. Karşılaştırmalı Sonuçlar

Yalnızca FTA metodu kullanılarak elde edilen eksikliklerin önceliklendirilmeleri ile FTA-FMEA hibrit yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar, karşılaştırılmak üzere Tablo 18’de sunulmuştur.

Tablo 18. Yönteme göre risk önceliklendirilmeleri

Önceliği	FTA	FTA-FMEA
1	Sertifikasyon ve Belgelendirme	Yangın Güvenliği
2	Yangın Güvenliği	Sertifikasyon ve Belgelendirme
3	Acil Durum Sistemleri	Can Kurtarma Donanımları
4	Can Kurtarma Donanımları	Su, Hava Geçirmezlik Durumu
5	Çevre Kirliliğinin Önlenmesi	Çevre Kirliliğinin Önlenmesi
6	Su, Hava Geçirmezlik Durumu	Acil Durum Sistemleri
7	Seyir Emniyeti	Yapısal Koşullar
8	Yapısal Koşullar	Telsiz Haberleşmesi
9	Denizcilik Çalışma Sözleşmesi 2006, Çalışma Koşulları	Ekipmanlar Dahil Yük Operasyonları
10	Tahrik ve Yardımcı Makineler	Seyir Emniyeti
11	Telsiz Haberleşmesi	Denizcilik Çalışma Sözleşmesi 2006, Çalışma Koşulları
12	Alarmlar	Tahrik ve Yardımcı Makineler
13	Diğer	Diğer
14	Ekipmanlar Dahil Yük Operasyonları	Alarmlar

FTA yöntemi, sistemdeki hata türlerinin mantıksal kapılar ile modellenmesine odaklanır ve hata oluşma olasılıklarını yalnızca olasılık değeri üzerinden hesaplar. Buna karşılık olarak FMEA yöntemi, hata türlerinin şiddet ve tespit edilemezlik gibi ek faktörleri de göz önünde bulundurarak çok yönlü bir risk değerlendirmesi sunar. FTA'nın hesaplama sürecinin yalnızca olasılık üzerinden yürütülmesinden kaynaklanan sınırlamaları, hibrit FTA-FMEA yaklaşımı ile giderilerek daha kapsamlı ve doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle FTA metodu, olasılık tespiti ve sistemdeki arıza nedenlerinin mantıksal yapıda modellenmesine odaklanırken FMEA yöntemi, şiddet ve tespit edilemezlik gibi faktörleri dahil ederek daha ayrıntılı bir risk değerlendirmesi sunmaktadır.

Tablo 18'de belirtilen karşılaştırmada, FTA yöntemi kapsamında "Sertifikasyon ve Belgelendirme" eksikliğini en kritik olay olarak belirlerken hibrit yöntem "Yangın Güvenliği" eksikliğini birinci öncelik olarak tanımlamıştır. Bu durum, FMEA'nın "Yangın Güvenliği" ile ilgili risklerin şiddet ve tespit edilemezlik boyutlarını daha hassas bir şekilde

ortaya koyduğunu göstermektedir. Ayrıca “Acil Durum Sistemleri” eksiklikleri, FTA’da üçüncü sırada yer alırken hibrit yöntemde altıncı sıraya gerilemiştir. Bu fark, FMEA’nın şiddet ve tespit edilemezlik kriterlerini de göz önüne alarak “Acil Durum Sistemleri” eksikliklerinin daha etkin ve doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlamış olabileceğini işaret etmektedir.

Sonuç olarak, FTA-FMEA hibrit yöntemi FTA’nın yetersiz kaldığı tespit edilemezlik ve şiddet değerlendirmeleri konusunda daha kapsamlı bir analiz sağlamaktadır. Bu yaklaşım, risk önceliklendirmesinde daha dengeli ve sistematik bir yapı oluşturarak karmaşık sistemlerde meydana gelebilecek hata türlerinin kapsamlı bir değerlendirmesine olanak tanır. Böylece, karmaşık sistemlerde hibrit yöntem kullanımı, karar vericilere daha güvenilir ve kapsamlı veriler sunarak risk yönetimi süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır.

Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, FTA-FMEA analizine göre en yüksek önceliğe sahip eksiklik “Yangın Güvenliği” olarak belirlenmiştir. Wang vd. (2021) bu çalışmanın sonuçlarına paralel olarak yangın güvenliği alanında denizcilik şirketlerinin gelişmiş yönetim uygulamalarının kritik öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Akyurek ve Bolat (2021) ise yaptıkları çalışmada, yangın güvenliği eksikliklerinin tüm ülkelerde evrensel olarak öncelikli kaygılardan birisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum, yangın güvenliği tedbirlerinde oluşan eksikliklerin gemi operasyonları üzerinde ciddi sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Yangın, denizde en yıkıcı acil durumlardan biridir ve kontrol altına alınamaması durumunda hem mürettebatın can güvenliği hem de geminin bütünlüğü açısından geri dönüşü olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle yangın algılama ve söndürme sistemlerinin etkinliği, yangınla mücadele ekipmanlarının bakımı ve mürettebatın yangınla mücadele konusundaki eğitimi PSC denetimlerinde titizlikle incelenmektedir.

İkinci öncelikli eksiklik “Sertifikasyon ve Belgelendirme” eksiklikleridir. Chen vd., (2019) ve Chuah vd. (2022), Tokyo MoU bölgesi verilerine dayanarak gemi tutuklanmalarında en etkili faktörü bu çalışmanın sonuçlarına paralel olarak ISM yani sertifikalar ve belgelendirme eksiklikleri olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Şanlıer (2021) de ISM yani sertifikalar ve belgelendirme eksikliklerinin gemi tutuklanmalarında kritik öneme sahip olduklarını vurgulamıştır. Sertifikalar, geminin uluslararası güvenlik ve emniyet standartlarına uygunluğunu belgeleyen resmi dokümanlardır. Eksik veya geçerliliğini yitirmiş sertifikalar, geminin temel güvenlik gereksinimlerini karşılamadığını gösterebilir. Bu durum, geminin PSC denetimlerinde

alikonulma riskinin oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle SOLAS, MARPOL ve ISM gibi uluslararası sözleşmelere uygunluğun belgelendirilmeleri denetimlerin kritik odak noktalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

Üçüncü sırada yer alan “Can Kurtarma Donanımları” ise acil durumlarda doğrudan hayatta kalma şansını etkileyen faktörlerden biridir. Akyurek ve Bolat (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada “Can Kurtarma Donanımları” eksikliklerinin tüm ülkelerde evrensel olarak öncelikli kaygılardan birisi olduğu belirtilmiştir. Can salı, can yeleği, acil durum botları gibi ekipmanların eksikliği veya işlevsizliği, PSC denetimlerinde sıklıkla tespit edilen kritik eksiklikler arasındadır. Bu nedenle ilgili ekipmanların uluslararası standartlara uygunluğu, periyodik bakım ve test süreçlerinden geçirilmesi, denetimlerde detaylı olarak değerlendirilmekte ve gemi güvenliğinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

“Su/Hava Geçirmezlik Durumu”, geminin yapısal güvenliğinin temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Zhu vd. (2023) çalışmaları sonucunda Paris MoU için en önemli alikonulma eksikliklerinden birini su/hava geçirmezlik durumu olarak nitelendirmişlerdir. Yetersiz su ve hava geçirmezlik, geminin denge ve yüzebilirlik özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum, özellikle sert deniz koşullarında geminin batma riskini arttırabilir. Bu tür yapısal eksiklikler, PSC denetimlerinde geminin limanda tutulmasına neden olabilecek kadar ciddi kabul edilebilmektedir.

Beşinci madde olan “Çevre Kirliliğinin Önlenmesi”, geminin çevresel sürdürülebilirliği ve operasyonlarının çevreye olan etkileri açısından kritik bir öneme sahiptir. Chuah vd. (2022), Tokyo MoU verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada, gemi alikonulmalarında en yaygın eksiklikleri Marpol Ekleri kapsamında “Çevre Kirliliğinin Önlenmesi” maddeleri olarak bulmuşlardır. Atık yönetimi, yakıt sızıntıları ve kimyasal madde kullanımı gibi konularda ortaya çıkan eksiklikler geminin sadece operasyonel güvenliğini değil aynı zamanda çevre koruma standartlarına uyumunu da doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle uluslararası çevre düzenlemeleri ve standartlarına uygunluk, PSC denetimlerinde detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir.

Genel olarak bu yüksek lisans tez çalışmasının sonuçları Chen vd. (2022), Suhrab vd. (2022), Zhu vd. (2023) gibi güncel literatür çalışmalarının elde ettiği bulgularla büyük oranda örtüşmektedir. Chen vd. (2022), Paris MoU veri tabanı kullanarak gemi tutuklanmalarının başlıca sebeplerini yangın güvenliği, seyir güvenliği, can kurtarma ekipmanları ve ISM sistemi eksiklikleri olarak bulmuşlardır. Aynı şekilde Suhrab vd. (2022)

tarafından Malezya Denizcilik Bakanlığı ve Tokyo MoU kayıtlarının incelenmesi neticesinde sertifikasyon ve belgelendirme, can kurtarma ekipmanları ve yangın güvenliği alıkonmaya yol açan en sık faktörler olarak tespit edilmiştir. Zhu vd. (2023) ise Tokyo ve Paris MoU ayırık verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada Tokyo MoU kapsamında can kurtarma ekipmanları ile sertifikasyon ve belgelendirme kapsamında ISM eksikliklerini, Paris MoU için ise yangın güvenliği ile su/hava geçirmezlik eksiklikleri en önemli alıkonma faktörleri olarak ortaya koymuştur. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde risk öncelik sıralamalarında bazı farklılıklar gözlemlense de mevcut literatür çalışmalarına benzer şekilde gemi tutuklanmalarının başlıca sebepleri yangın güvenliği, sertifikasyon ve belgelendirme, can kurtarma ekipmanları, su/hava geçirmezlik durumu ve çevre kirliliğinin önlenmesi olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma, PSC denetimleri sırasında gemilerin alıkonulmasına neden olan eksiklikleri analiz etmek amacıyla hibrit FTA-FFMEA metodolojisini kullanarak deniz güvenliği ve gemilerin alıkonulmasının incelenmesine ilişkin yenilikçi bir metodolojik bakış açısı sunmaktadır. Ocak ve Temmuz 2023 tarihleri arasında, Paris MoU'dan 28, Tokyo MoU'dan 22, Akdeniz MoU'dan 11 ve Hint Okyanusu MoU'dan 21 denizcilik idaresi ile toplam 82 denizcilik idaresini kapsayan çalışmada toplam 1.213 alıkonulan gemi verisi ile veri tabanı oluşturulmuştur. İlk aşamada FTA metodu kullanılarak bu veri tabanının olasılık değerlerinin hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. FTA metodunun gerekliliği olan hata ağacı yapısının oluşturulması ve temel olayların belirlenmesi için Paris MoU denetçileri tarafından kullanılan eksiklik listesi ve çalışmaya dahil edilmiş diğer 3 MoU'nun eksiklik listeleri dikkate alınmıştır. Her bir temel olayın olasılık değeri FTA yöntemi ile hesaplandıktan sonra ara olayların ve tepe olayın olasılıkları belirlenmiştir. Yine FTA metodunun en önemli özelliklerinden olan Minimum Kesim Kümeleri (MCS) belirlendikten sonra Fussell-Vesely ve Barlow-Proschan yöntemleri kullanılarak temel ve ara olayların önem analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece daha sonra karşılaştırma yapılmak üzere FTA metodu tamamlanmış ve FMEA metodunda kullanılmak üzere ara olayların olasılık değerleri hesaplanmıştır.

FTA'nın tek boyutlu olasılık analizinin sınırlamalarını ele almak amacıyla ara olayların şiddetini ve tespit edilemezliğini değerlendirmek üzere sektör uzmanlarıyla anketler gerçekleştirilmiştir. Bu anketlerden güvenilirlik açısından en yüksek puanı alan 7 anket FMEA metodunda kullanılmak üzere analiz edilmiştir. Ayrıca, FMEA metodunun mevcut sınırlamalarını ve kısıtlarını gidermek ve daha kapsamlı bir risk değerlendirmesi sağlamak amacıyla bulanık mantık ile FMEA yöntemi entegre edilmiştir. Böylece olasılık, şiddet ve tespit edilemezlik parametreleri arasındaki belirsizlikler etkin bir şekilde ele alınabilmektedir. Sonuç olarak FTA metodu tek başına "Sertifikasyon ve Belgelendirme" eksikliklerini gemi tutuklanmalarının en yüksek risk önceliği olarak belirlerken bütünleşmiş FTA-FFMEA metodolojisi "Yangın Güvenliği" eksikliklerinin gemilerin alıkonulmasına neden olan en önemli faktör olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın elde edilen sonuçlar, gemilerin alıkonulmasına sebep olan eksikliklerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlama konusunda liman devleti yetkililerine, gemi

sahiplerine ve işletmecilerine, gemi personeline, bayrak devletlerine ve klas kuruluşlarına rehberlik etme potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyel mevcut çalışmanın sınırlamalarının ele alınmasıyla daha da geliştirilebilir.

İlk sınırlama, olasılık değerleri hesaplamalarının dört mutabakat zaptından elde edilen verilere dayanmasıdır. Literatür incelendiğinde çalışmaların çoğunun yalnızca tek bir mutabakat zaptına odaklandığı ve sadece sınırlı sayıda çalışmanın iki mutabakat zaptını dikkate aldığı görülmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışması dört mutabakat zaptını kapsamakta olsa da gelecekteki araştırmalara diğer mutabakat zaptlarının dahil edilmesi PSC denetimleri yoluyla gemi alıkonulma nedenlerinin daha kapsamlı bir analizini mümkün kılabilir.

Bir diğer sınırlama ise FMEA metodolojisinin insan faktörleriyle ilişkisi ile ilgilidir. Anket yönteminin kullanılması insan yargısının etkisi nedeniyle önemli bir sınırlama getirmektedir. Katılımcılar tarafından verilen yanıtlar kişisel algı ve deneyimlere dayanmaktadır ve bu durumda farklı katılımcıların değerlendirmeleri arasında değişkenliğe yol açmaktadır. Güvenirlik analizleri, anket verilerinden güvenilir sonuçlar elde edilmesini temin etse de bu değişkenlik verilerin doğruluğunu ve genelleştirilebilirliğini sınırlayan önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Sınırlamalarına rağmen bu yüksek lisans tez çalışması, çeşitli paydaşlara pratik rehberlik sağlamakta yeterli güvenilirlikte sonuçlar elde etmiştir. İlk olarak bulunan bulgular bayrak devletleri, PSC yetkilileri ve denizcilikte kural düzenleyici makamlarca kullanılmak üzere denetimlerde tespit edilen eksikliklerin önceliklendirilmesinde yardımcı olabilir. Bu eksikliklerin doğru bir şekilde belirlenmesi daha etkili düzenlemelerin ve uyum stratejilerinin geliştirilmesini sağlayacaktır. İkinci olarak bu çalışma, gemi işletmecileri ve klas kuruluşları açısından önemli bir değer taşımaktadır. Bu paydaşlar uluslararası denizcilik standartlarına uyuma odaklanan iyileştirme programları geliştirmek için sonuçları kullanabilir ve böylece gemilerin alıkonulması olasılığını azaltmaya yönelik çalışmalar yapabilirler. Son olarak gemi mürettebatının eğitimi ve farkındalığının artırılmasına yönelik adımların önemini vurgulamak hayati önem taşımaktadır. “Yangın güvenliği” eksikliklerinin kritik bir risk unsuru olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu alana odaklanan kapsamlı eğitim programlarının geliştirilmesi gemi personeli arasında güvenlik bilincinin geliştirilmesi ve gemilerin alıkonulmasının önlenmesine yönelik çok önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

5. ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışması, gemi tutuklanmalarına neden olan temel eksikliklerin FTA ve FFMEA hibrit yöntemi ile analiz edilmesi ile literatüre yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen bulgular ve yapılan analizlerin denizcilik sektöründe risk yönetimi uygulamalarına katkı sağlaması ve daha etkili sonuçlar vermesi ile gelecekteki çalışmalara katkı sağlaması adına aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- Tezin bulguları gemi tutuklanmalarına en sık neden olan eksikliklerin yangın güvenliği ile ilgili eksiklikler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle liman devleti denetim otoritelerinin gemilerin yangın güvenlik sistemlerini daha sıkı kontrol etmesi, talim ve eğitim kayıtlarının dikkatle incelenmesi ve denetimlerde yangın güvenliği konusuna özel önem göstererek gemi de gerçekleştirilen talimlere gözlemcilik etmeleri önerilmektedir.
- Liman devleti kontrolleri tarafından yangın güvenlik sistemlerinin daha sıkı ve dikkatle incelenmesi adına, yangın güvenlik sistemleri için geliştirilmiş standart kontrol formları oluşturulabilir. Böylelikle armatörler ve gemi operatörlerinin gemilerinin yangın güvenliğini geliştirilmeleri konusunda teşvik edilmesi ve dikkatinin çekilmesi sağlanabilir.
- Gemi mürettebatına yangın güvenliği konularına yönelik bilgi ve farkındalık düzeyini artırmak amacıyla yoğunlaştırılmış eğitim programları düzenlenmesi gerekmektedir. Her ne kadar gemi personeli haftalık olarak bu eğitimleri alıyor gözükse de bu eğitimlerin gerçekleştirildiğinin kontrolü daha dikkatle irdelenmeli ve eğitimlerin teşviki sağlanmalıdır. Haftalık eğitimlerin yanı sıra yangın güvenliği konusunun düzenli talimler ile pekiştirilmesinin kontrolü ve denetiminin armatörler ve gemi operatörleri tarafından teyidinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, eğitim ve talim programları interaktif simülasyonlar ve sanal gerçeklik uygulamaları gibi modern eğitim yöntemleriyle desteklenebilir.
- Bu çalışma, 4 MoU ile sınırlı bir veri setine dayanmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda daha fazla MoU veri seti ve daha uzun zaman dilimlerini kapsayan analizler yapılması önerilmektedir. Böylelikle bölgesel MoU'lar arasındaki tutuklanmaya sebep olan farklılıklar veya küresel boyutta hangi eksikliklerin gemi tutuklanmaları üzerinde daha etkili olduğu ortaya koyulabilir.

- Sadece MoU çeşitliliğine bağlı kalmayarak uzun dönemli analizler yapılarak zaman içindeki trendler, risk faktörlerindeki değişimler veya olası iyileşme ya da kötüleşme durumları da değerlendirilebilir.
- Uzman görüşlerine dayalı analizlerin getirdiği öznelliği azaltmak amacıyla daha objektif değerlendirme yöntemleri ve standartlaştırılmış puanlama sistemleri geliştirilebilir. Bu bağlamda yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi güncel yöntemlerin entegrasyonu sağlanabilir ve daha yenilikçi modellemeler geliştirilebilir.
- FTA-FMEA hibrit yöntemine ek olarak bayesian ağlar, yapay zekâ veya makine öğrenimi gibi yenilikçi analiz yöntemlerinin de hibrit yönteme katılması ile gemi tutuklanmalarının statik etkileri (gemi yaşı, gemi boyutu, tanınmış kuruluşu vb.) gibi etkiler de eş zamanlı olarak analiz edilebilir. Böylelikle literatürde gemi tutuklanmalarının sebepleri olarak görülen dinamik ve statik verilerin birlikte küresel boyutta incelenmesi eksikliğinin giderilmesi sağlanabilir.
- Bölgesel denet mekanizmasından küresel denet mekanizmasına geçişin ve uyumun sağlanabilmesi için farklı MoU'ların referans aldığı uluslararası sözleşmeler arasındaki uyumsuzlukların giderilmesi veya bu uyumsuzlukların göz önünde bulundurularak risk analizlerini küresel boyuta genişletilebilecek analizler uygulanabilir.

Bu öneriler, çalışmanın mevcut bulgularını daha da güçlendirirken gemi tutuklanmalarına yol açan eksikliklerin daha kapsamlı bir biçimde anlaşılmasını ve denizcilik sektöründe risk yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesini sağlayacak pratik adımlar sunmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Akpınar, H. & Sahin, B. (2020). Strategic management approach for port state control: The Black Sea Memorandum of Understanding detention analysis. *Maritime Business Review*, 5(3), s. 281-293.
- Akyurek, E. & Bolat, P. (2021). Ranking port state control detention remarks: professional Judgement and spatial overview. *European Transport Research Review*, 13, s. 1-19.
- Akyuz, E. & Celik, E. (2018). A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill. *Maritime Policy & Management*, 45(8), s. 979-994.
- Akyuz, E., Akgun, I. & Celik, M. (2016). A fuzzy failure mode and effects approach to analyse concentrated inspection campaigns on board ships. *Maritime Policy & Management*, 43(7), s. 887-908.
- Antao, P. & Guedes Soares, C. (2006). Fault-tree models of accident scenarios of RoPax vessels. *International Journal of Automation and computing*, 3.
- Arslan, Ö., Zorba, Y. & Svetak, J. (2018). Fault tree analysis of tanker accidents during loading and unloading operations at the tanker terminals. *Journal of ETA maritime science*, 6(1).
- Ayçin, E. (2011). Kural tabanlı bulanık modelleme ve fiyat tahminleme sürecinde bir uygulama, *Dokuz Eylul Üniversitesi*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Babuška, R. (1996). Fuzzy systems, modeling and identification. *Delft University of Technology, Department of Electrical Engineering Control Laboratory, Mekelweg*, 4.
- Barlow, R. E. & Proschan, F. (1975). Importance of system components and fault tree events. *Stochastic Processes and their applications*, 3(2), s. 153-173.
- Boole, G. (1854). *An investigation of the laws of thought: on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities* (Cilt 2). Walton and Maberly.
- Borgonovo, E., Apostolakis, G. E., Tarantola, S. & Saltelli, A. (2003). Comparison of global sensitivity analysis techniques and importance measures in PSA. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(2), s. 175-185.
- Bowles, J. B. & Peláez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability engineering & system safety*, 50(2), s. 203-213.
- Cariou, P., Mejia, M. Q. & Wolff, F.-C. (2009). Evidence on target factors used for port state control inspections. *Marine Policy*, 33(5), s. 847-859.

- Catumba, J. & Diaz, R. (2012). Boolean differential operators. *arXiv preprint arXiv:1210.7842*.
- Ceylan, B. O., Akyar, D. A. & Celik, M. S. (2023). A novel FMEA approach for risk assessment of air pollution from ships. *Marine Policy*, 150.
- Chang, C.-H., Kontovas, C., Yu, Q. & Yang, Z. (2021). Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships. *Reliability Engineering & System Safety*, 207.
- Chen, J., Zhang, S., Xu, L., Wan, Z., Fei, Y. & Zheng, T. (2019). Identification of key factors of ship detention under Port State Control. *Marine Policy*, 102, s. 21-27.
- Chen, Y., Lou, N., Liu, G., Luan, Y. & Jiang, H. (2022). Risk analysis of ship detention defects based on association rules. *Marine Policy*, 142.
- Chuah, L. F., Mokhtar, K., Bakar, A. A., Othman, M. R., Osman, N. H., Bokhari, A., . . . Hasan, M. (2022). Marine environment and maritime safety assessment using Port State Control database. *Chemosphere*, 304.
- Doganay, B., Çavuşoğlu, B. & Güler, Ç. B. (2023). A Study on Minimizing Potential Accidents in Ship Bunkering Operation Through Use of Failure Mode and Effect Analysis. *Journal of Marine and Engineering Technology*, 3(1), s. 1-13.
- Dubois, D. & Prade, H. (1985). A review of fuzzy set aggregation connectives. *Information sciences*, 36(1-2), s. 85-121.
- Fan, L., Zhang, M., Yin, J. & Zhang, J. (2022). Impacts of dynamic inspection records on port state control efficiency using Bayesian network analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 228.
- Gallab, M., Bouloiz, H., Alaoui, Y. L. & Tkiouat, M. (2019). Risk assessment of maintenance activities using fuzzy logic. *Procedia computer science*, 148, s. 226-235.
- Gholamy, A., Kosheleva, O. & Kreinovich, V. (2019). How to explain the efficiency of triangular and trapezoid membership functions in applications to design. *Онтология проектирования*, 9(2), s. 253-260.
- Gliem, J. A. & Gliem, R. R. (2003). Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales. *Midwest research-to-practice conference in adult, continuing, and community education*. 1, s. 82-87. Columbus, OH.
- Goksu, S. & Arslan, O. (2023). A quantitative dynamic risk assessment for ship operation using the fuzzy FMEA: The case of ship berthing/unberthing operation. *Ocean Engineering*, 287.
- 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), s. 42-48.

- Hidayat, A. A. & Kholil, M. (2018). The implementation of fta (fault tree analysis) and fmea (failure mode and effect analysis) methods to improve the quality of jumbo roll products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453(1).
- Hocek, H. & Yazır, D. (2025). 2019-2020 YILLARINDA PARİS, TOKYO VE KARADENİZMUTABAKAT ZAPTLARINDA BAĞLANAN GEMİLERÜZERİNE İSTATİSTİKSEL BİR ANALİZ. *Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 7(1), s. 78-95.
- Hocek, H., Yay, S. & Yazir, D. (2025). Comprehensive analysis of ship detention probabilities using binary logistic regression method with machine learning. *Ocean Engineering*, 315.
- Iyer, S. (1992). The Barlow--Proschan importance and its generalizations with dependent components. *Stochastic processes and their applications*, 42(2), s. 353-359.
- Jasrin, N. S., Othman, S. A., Azman, N. F. & Bakar, N. F. (2021). Basic of fault tree (FT) method. *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology*, 1(1), s. 15-20.
- Kaynak, O., Zadeh, L. A., Turksen, B. & Rudas, I. J. (2012). *Computational intelligence: Soft computing and fuzzy-neuro integration with applications* (Cilt 162). Springer Science & Business Media.
- Kumru, M. & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied soft computing*, 13(1), s. 721-733.
- Li, H., Díaz, H. & C. Guedes, S. (2021). A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEA methodology. *Ocean Engineering*, 234.
- Liu, P., Wu, Y., Li, Y. & Wu, X. (2024). An improved FMEA method based on the expert trust network for maritime transportation risk management. *Expert Systems with Applications*, 238.
- Liu, S. (2010). *Grey Systems: Theory and Applications*. Springer Verlag.
- Mamdani, E. H. & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), s. 1-13.
- Mutlu, N. G. & Altuntas, S. (2019). Risk analysis for occupational safety and health in the textile industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 72, s. 222-240.
- Mutlu, N. G. & Altuntas, S. (2019a). Hazard and risk analysis for ring spinning yarn production process by integrated FTA-FMEA approach. *Textile and Apparel*, 29(3), s. 208-218.
- Natvig, B. a. (2009). New results on the Barlow-Proshan and Natvig measures of component importance in nonrepairable and repairable systems. *Methodology and Computing in Applied Probability*, 11, s. 603-620.

- Ozkilic, D. (2005). Occupational health and safety, management systems and risk assessment methodologies. *Agency-Turkish Press and Printing AS.*, s. 36-70.
- Ödük, M. N. (2019). *Bulanık Mantık Yöntemi ve Uygulamaları*. Ankara: İKSAD.
- Passino, K. M., Yurkovich, S., & Reinfrank, M. (1998). *Fuzzy control* (Cilt 42).
- Peng, X. & Yang, Y. (2016). Fundamental properties of interval-valued Pythagorean fuzzy aggregation operators. *International journal of intelligent systems*, 31(5), s. 444-487.
- Pietrzykowski, Z. (2007). Assessment of navigational safety in vessel traffic in an open area. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety od Sea Transportation*, 1(1), s. 85-88.
- Piniella, F., Rodríguez-Díaz, E., & Alcaide, J. I. (2014). A comparative analysis of vessels detained under the PSC agreements of Paris, Tokyo and Vina del Mar. *Journal of shipping and Ocean Engineering*, 4, s. 291-306.
- Ross, T. J. (2005). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
- Ruijters, E. & Stoelinga, M. (2015). Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer science review*, 15, s. 29-62. Computer science review. adresinden alındı
- Sakar, C., Toz, A. C., Buber, M. & Koseoglu, B. (2021). Risk analysis of grounding accidents by mapping a fault tree into a Bayesian network. *Applied Ocean Research*, 113.
- Sanchez-Roger, M., Oliver-Alfonso, M. D. & Sanchís-Pedregosa, C. (2019). Fuzzy logic and its uses in finance: A systematic review exploring its potential to deal with banking crises. *Mathematics*, 7(11), s. 1091.
- Shafiee, M., Enjema, E. & Kolios, A. (2019). An integrated FTA-FMEA model for risk analysis of engineering systems: a case study of subsea blowout preventers. *Applied Sciences*, 9(6).
- Smith, D. J. (2021). Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis*. Quality Press.
- Suhrab, M. I., Sayed, M. A., Muniandy, T. D., Fuad, A. F., Said, M. H. & Ahmed, T. (2022). Ship Detention Factors Under Port State Control in Malaysia. *Specialusis Ugdymas*, 1(43), s. 8386-8395.
- Şanlıer, Ş. (2020). Analysis of port state control inspection data: The Black Sea Region. *Marine Policy*, 112.
- Şanlıer, Ş. (2021). Paris Memorandum Denetim Datalarının Liman Devletleri Bağlamında Analizi (2016-2018). *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 16(1).

- Tavakol, M. & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, s. 53.
- Töz, A., Büber, M., Köseoğlu, B. & Şakar, C. (2022). Analysis of Collision Accidents in Maritime Transportation by FTA Method. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 8(1), s. 15-30.
- Tsou, M. C. (2019). Big data analysis of port state control ship detention database. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 18(3), s. 113-121.
- Turhan, O. (2024). Karadeniz Memorandumu Yeni Denetim Rejimi Kapsamında Gemi Denetim Oranı Hedeflerinin Belirlenmesi, *İstanbul Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- Uflaz, E., Akyuz, E., Arslan, O., Gardoni, P., Turan, O. & Aydın, 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.
- Ugurlu, H. & Cicek, I. (2022). Analysis and assessment of ship collision accidents using Fault Tree and Multiple Correspondence Analysis. *Ocean Engineering*, 245.
- Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U. & Yüseyıldız, E. (2015). Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method. *Maritime Policy & Management*, 42(2), s. 163-185.
- URL-1. *Contact us*. (2025, Ocak 22). tokyo-mou: https://www.tokyo-mou.org/organization/contact_us.php adresinden alındı
- URL-2. *History*. (2025, Ocak 22). iomou: <https://www.iomou.org/HOMEPAGE/history.php?l1=9w==&main=9MRxvdnUArYh3s7NhKujCySt3tzcWkz1TL8uRiujbFPqmsz9iMGqyc3lNNG87ULMnec5K+WqtX86Eny27SXoVhqxOyQIreRDRUynOkhlQ44ulR5jzW7kfwf5qIkrDwcfUo71ILrlnDjrMk2DLRuMF3nQrVwbfaYxbw==&l2=/g==> adresinden alındı
- URL-3. MoU, P. (2025, Ocak 22). *Memorandum*. Paris MoU Web Sitesi: <https://parismou.org/PMoU-Procedures/Library/memorandum> adresinden alındı
- URL-4. *MS*. (2025, Ocak 22). medmou: <https://www.medmou.org/MS.aspx> adresinden alındı
- URL-5. *Organisation*. (2025, Ocak 22). parismou: <https://parismou.org/about-us/organisation> adresinden alındı
- Van der Borst, M. & Schoonakker, H. (2001). An overview of PSA importance measures. *Reliability Engineering & System Safety*, 72(3), s. 241-245.
- Van Leekwijck, W. & Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy sets and systems*, 108(2), s. 159-178.

- Wang, Y., Zhang, F., Yang, Z. & Yang, Z. (2021). Incorporation of deficiency data into the analysis of the dependency and interdependency among the risk factors influencing port state control inspection. *Reliability Engineering & System Safety*, 206.
- Wang, Y.-M., Chin, K.-S., Poon, G. K. & Yang, J.-B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert systems with applications*, 36(2), s. 1195-1207.
- Xu, C., Wang, C., Ding, Y. & Wang, W. (2020). Investigation of extremely severe traffic crashes using fault tree analysis. *Transportation letters*, 12(3), s. 149-156.
- Yan, R. & Wang, S. (2022). Ship detention prediction using anomaly detection in port state control: Model and explanation. *Electron. Res. Arch*, 30, s. 3679-3691.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*.
- Zaman, M., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Khanfir, S., Pitana, T. & Maimun, A. (2014). Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data. *Journal of Simulation*, 8(1), s. 91-104.
- Zhu, J.-H., Yang, Q. & Jiang, J. (2023). Identifying crucial deficiency categories influencing ship detention: A method of combining cloud model and prospect theory. *Reliability Engineering & System Safety*, 230. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108949>

7. EKLER

Ek 1. Etik Kurul Kararı Onayı



HİZMETE ÖZEL

T.C.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu



Sayı : E-26014373-050.01.04-613349
Konu : Etik Kurul Kararı (Doç. Dr. Devran YAZIR)

29.01.2025

REKTÖRLÜK MAKAMINA
(Hukuk Müşavirliği)

İlgi : 20.01.2025 tarihli ve E-79969227-929-14159 sayılı yazı.

Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Devran YAZIR'ın "Gemi Tutuklanmalarının FTA ve FMEA Hibrit Yöntemle İncelenmesi" başlıklı tez çalışması kapsamında "Etik Kurul Belgesi" ile ilgili olarak kurulumuza yaptığı başvuru değerlendirilerek etik açıdan uygun bulunmuş ve sonucu Ek'te gönderilmiştir. İlgili öğretim üyesinin bilgilendirilmesi hususunda gereğini arz ederim.

Prof. Dr. Tuncay BAYRAM
Başkan

Ek: Toplantı Tutanağı (3 Sayfa)



Ek 2. Araştırma Anketi**ARAŞTIRMA ANKETİ**

Değerli Katılımcı,

Aşağıda yer alan anket formundaki bilgiler Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Öğr. Üyesi Doç. Dr. Devran YAZIR danışmanlığında yapılacak olan Yüksek Lisans tez çalışmasında kullanılacaktır. Anket soruları genel olarak değerlendirileceği için isminizi belirtmenize gerek yoktur. Anket ile gemi tutuklanmalarının hata ağacı analizi (FTA) ve hata türü ve etki analizi (FMEA) hibrit yöntemi ile incelenmesi amaçlanmaktadır. Soruları cevaplar iken uzman tecrübeleriniz ile yaşadığınız denetim ve tutuklanma deneyimlerinizi göz önünde bulundurunuz. Çalışmamıza desteğiniz için teşekkür ederiz. Saygılarımızla.

Hürol HOCEK

KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi / KTÜ SDBF DUİM Öğretim Elemanı Araştırma Görevlisi

A- Kişisel bilgiler

- 1) İş Yeri Pozisyon veya Ünvan (Uzakyol Kaptan, Operasyon Müdürü, Akademisyen vb.)
- 2) Yeterliliğiniz (Uzakyol Kaptan, Uzak yol Baş Mühendis, Elektro-Teknik Zabiti vb.)
- 3) Eğitim Düzeyi (Doktora, Yüksek Lisans, Lisans, Ön Lisans vb.)
- 4) Toplam Deniz Hizmeti (yıl)
- 5) Toplam Kara Hizmeti (yıl)

B- Olasılık Değerlendirmesi

Değerli katılımcı,

Lütfen aşağıdaki olayları gemi tutuklanmasını etkileyecek şekilde gemide olma olasılığını düşünerek ve Tablo 1’deki bilgileri referans alarak Çok düşük-Çok yüksek olacak şekilde sıralayınız.

Tablo 1. Oluşma olasılığı (O) seviyeleri

Değer	Oluşma Potansiyeli	Tanım
10	Çok Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı neredeyse kesindir; neredeyse her zaman meydana gelir.
9	Çok Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı çok yüksektir; çok sık meydana gelir.
8	Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı yüksektir; sık sık meydana gelir.
7	Yüksek	Olayın gerçekleşme olasılığı yüksektir; düzenli olarak meydana gelir.
6	Orta	Olayın gerçekleşme olasılığı orta düzeydedir; zaman zaman daha sık meydana gelir.
5	Orta	Olayın gerçekleşme olasılığı orta düzeydedir; zaman zaman meydana gelir.
4	Orta	Olayın gerçekleşme olasılığı orta düzeydedir; zaman zaman daha az meydana gelir.
3	Düşük	Olayın gerçekleşme olasılığı düşüktür; nadiren meydana gelir.
2	Düşük	Olayın gerçekleşme olasılığı çok düşüktür; daha nadir meydana gelir.
1	Çok Düşük	Olayın gerçekleşme olasılığı çok düşüktür; neredeyse hiç gerçekleşmez.

[illegible]

C-Şiddet Değerlendirmesi

Değerli katılımcı,

Lütfen aşağıdaki olayların gemi tutuklanmasına etkisini ve ciddiyetini değerlendirerek ve Tablo 2’deki bilgileri referans alarak Çok düşük-Çok yüksek olacak şekilde sıralayınız.

Tablo 2. Şiddet (S) seviyeleri

Değer	Şiddet	Tanım
10	Çok Yüksek	Olayın sonuçlanması çok ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması neredeyse kesindir.
9	Çok Yüksek	Olayın sonuçlanması çok ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski oldukça yüksektir.
8	Yüksek	Olayın sonuçlanması ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski nispeten daha yüksektir.
7	Yüksek	Olayın sonuçlanması ciddi sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski yüksektir.
6	Orta	Olayın sonuçlanması orta ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski orta-yüksek seviyedir.
5	Orta	Olayın sonuçlanması orta ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski orta seviyedir.
4	Orta	Olayın sonuçlanması orta ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski orta-düşük seviyedir.
3	Düşük	Olayın sonuçlanması düşük ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski düşüktür.
2	Düşük	Olayın sonuçlanması düşük ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski düşüktür.
1	Çok Düşük	Olayın sonuçlanması çok düşük ciddiyette sonuçlara yol açar; gemi alıkonulması riski çok düşüktür.

Yayın No	Açıklama	1-Çok Düşük	2-Düşük	3-Düşük
Olay-1	Sertifikasyon ve Belgelendirme			
Olay-2	Yapısal Koşullar			
Olay-3	Su, Hava Geçirmezlik Durumu			
Olay-4	Acil Durum Sistemleri			
Olay-5	Telsiz Haberleşmesi			
Olay-6	Ekipmanlar Dahil Yük Operasyonları			
Olay-7	Alarmlar			
Olay-8	Can Kurtarma Donanımları			
Olay-9	Seyir Emniyeti			
Olay-10	Yangın Güvenliği			
Olay-11	Denizcilik Çalışma Sözleşmesi 2006, Çalışma Koşulları			
Olay-12	Tahrik ve Yardımcı Makineler			
Olay-13	Diğer			
Olay-14	Çevre Kirliliğinin Önlenmesi			

D-Tespit edilemezlik Değerlendirmesi

Değerli katılımcı,
Lütfen aşağıdaki olayların denet öncesi tespit edilemezlik seviyesini değerlendirerek ve Tablo 3'teki bilgileri referans alarak Çok düşük-Çok yüksek olacak şekilde sıralayınız.

Değer	Tespit Edilemezlik	Tespit Edilme Olasılığı (%)	Tanım
10	Çok Yüksek	0–5	Olayın tespit edilemezliği son derece yüksektir. Genellikle fark edilmez veya tespit edilmesi neredeyse imkansızdır.
9	Çok Yüksek	6–15	Olayın tespit edilemezliği çok yüksektir. Genellikle gözden kaçır veya yanlış yorumlanır.
8	Yüksek	16–25	Olayın tespit edilemezliği yüksektir. Bazı durumlarda fark edilebilir, ancak genellikle belirsiz kalır ve doğru bir şekilde tespit edilmesi zordur.
7	Yüksek	26–35	Olayın tespit edilemezliği yüksektir. Belirli önlemlerle tespit edilebilir, ancak bazı durumlarda yine de gözden kaçabilir.
6	Orta	36–45	Olayın tespit edilemezliği orta seviyedir. Genellikle fark edilebilir, ancak bazı durumlarda gözden kaçabilir.
5	Orta	46–55	Olayın tespit edilemezliği orta seviyedir. Genellikle önlemlerle fark edilir, ancak bazen geç veya yanlış tespit edilebilir.
4	Orta	56–65	Olayın tespit edilemezliği orta seviyedir. Genellikle zamanında fark edilir ve yerinde önlemlerle kolayca tespit edilebilir.
3	Düşük	66–75	Olayın tespit edilemezliği düşüktür. Sıklıkla fark edilir ve genellikle doğrulukla tespit edilir.
2	Düşük	76–85	Olayın tespit edilemezliği düşüktür. Neredeyse her zaman zamanında fark edilir ve etkili önlemlerle hızla tespit edilir.
1	Çok Düşük	86–100	Olayın tespit edilemezliği düşüktür. Neredeyse her zaman hızlı ve doğru bir şekilde fark edilir.

[illegible]

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini 12 Eylül İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini Çeşme Ulusoy Denizcilik Anadolu Meslek Lisesi'nde okul ikincisi olarak tamamladı. 2014-2015 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2019 yılında bu bölümden yüksek onur derecesinde fakülte birinciliği ile mezun oldu. Aynı yıl Uzakyol Vardiya Zabiti yeterliliği ile meslek hayatına başladı ve 2024 yılına kadar 2. ve 3. Zabit olarak farklı boyuttaki gemilerde hizmet verdi. 2022-2023 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başladı. 2024 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.