

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DENİZCİLİKTE EMNİYET, GÜVENLİK VE ÇEVRE YÖNETİMİ
PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOĞUN SUYOLLARINDA GEMİ ÇATIŞMA
KAZALARININ RİSK ANALİZİ

Ayyüce YURT

Danışman

Doç. Dr. Cenk ŞAKAR

2023

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DENİZCİLİKTE EMNİYET, GÜVENLİK VE ÇEVRE YÖNETİMİ
PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOĞUN SUYOLLARINDA GEMİ ÇATIŞMA
KAZALARININ RİSK ANALİZİ

Ayyüce YURT

Danışman

Doç. Dr. Cenk ŞAKAR

İZMİR-2023

TEZ ONAY SAYFASI



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yoğun Suyollarında Gemi Çatışma Kazalarının Risk Analizi” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

....../....../2023

Ayyüce YURT

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
Yoğun Suyollarında Gemi Çatışma Kazalarının Risk Analizi
Ayyüce YURT

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Yüksek Lisans Programı

Küreselleşen dünyada deniz yolu taşımacılığına artan talep sonucu, dünyanın önemli ticari bölgelerini bağlayan önemli suyollarındaki gemi trafik yoğunluğu da gün geçtikçe artmaktadır. Yoğun suyollarında gerçekleşen çatışma kazalarının ciddi sonuçları olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı yoğun suyollarında çatışma kazalarının risk analizini gerçekleştirerek buralardaki emniyeti arttırmaktır. Çalışmada risk analizini gerçekleştirmek amacıyla mevcut literatür ve geçmiş kaza raporları incelenerek uzman görüşleri yardımıyla çıkarılan kök nedenlerden insan hatasıyla ilişkili olanların olasılıkları Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) ile diğer kök nedenlerin olasılıkları ise Bulanık Mantık ile belirlenmiştir. Ardından Hata Ağacı Analizi yöntemiyle risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Dikkat dağınıklığı ve aşırı zihinsel yük kök nedenlerinin yoğun suyollarında çatışma kazaları üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hata Ağacı Analizi, Yoğun suyolları, Çatışma, Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi, Bulanık Mantık

ABSTRACT
Master's Thesis
Risk Analysis of Ship Collisions in Congested Waterways
Ayyüce YURT

Dokuz Eylul University
Graduate School of Social Sciences
Department of Marine Transportation Engineering
Maritime Safety, Security and Environmental Management Program

Due to the growing demand for maritime transportation in the globalized world, the density of ship traffic in the congested waterways connecting major economic districts is steadily increasing. Collisions occurring in congested waterways might result in significant consequences. The objective of this study is to enhance safety in congested waterways by conducting a risk analysis of ship collision accidents. To conduct risk analysis in the study, we analyzed the existing literature and past accident reports and revealed the root causes with the assistance of expert opinions. The probabilities of root causes related to human error were determined using the Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), whereas the probabilities of other root causes were determined using Fuzzy Logic. Subsequently, a risk assessment was conducted utilizing the Fault Tree Analysis method. It has been determined that distraction and mental overload are the primary factors contributing to collision accidents in congested waterways.

Keywords: Fault Tree Analysis, Congested waterways, Collision, Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Fuzzy Logic

YOĞUN SUYOLLARINDA GEMİ ÇATIŞMA KAZALARININ RİSK ANALİZİ

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
EKLER LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

DENİZ KAZALARI VE YOĞUN SUYOLLARI

1.1. DENİZ KAZASI TİPLERİ	3
1.1.1.Geçmişteki Büyük Kazalar	4
1.1.2. Deniz Kazalarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar	6
1.2. YOĞUN SUYOLLARI	9
1.3.YOĞUN SUYOLLARIYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	16

İKİNCİ BÖLÜM

RİSK ANALİZİ

2.1.HATA AĞACI ANALİZİ (FTA-FAULT TREE ANALYSIS)	23
2.1.1.Hata Ağacı Diyagramlarının Elementleri ve Kullanılan Semboller	24
2.1.1.1.Olay Sembolleri (Event Symbols)	25

2.1.1.2.Kapı Sembolleri (Gate Symbols)	27
2.1.1.3.Transfer Sembolleri (Transfer Symbols)	28
2.1.2. Hata Ağacı Analizlerinin Niteliksel ve Niceliksel Değerlendirmeleri	29
2.1.3. Minimum Kesim Kümelerinin Hesaplanması ve Tepe Olay Hata Olasılığı	30
2.1.4. Hata Ağacı Analizlerinin Karar Verme Aşamasındaki Rolü	33
2.1.5. Hata Ağacı Analizinin Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması	35
2.2. BİLİŞSEL GÜVENİLİRLİK VE HATA ANALİZİ YÖNTEMİ (CREAM- COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD)	39
2.2.1. Kontrol Modları	41
2.2.1.1. Karışık Kontrol Modu (Scrambled Control)	43
2.2.1.2. Fırsatçı Kontrol Modu (Opportunistic Control)	43
2.2.1.3. Taktiksel Kontrol Modu (Tactical Control)	43
2.2.1.4. Stratejik Kontrol Modu (Strategic Control)	43
2.2.2. Temel Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) (Temel Versiyon)	44
2.2.2.1.Bağlam Etki İndeksinin (CII) Belirlenmesi	47
2.2.2.2.Bağlam Etki İndeksi CII ve Bilişsel Başarısızlık Olasılığı (CFP):Temel Versiyon	48
2.2.3. Genişletilmiş Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) (Genişletilmiş Versiyon)	49
2.2.3.1. Performans Etki İndeksinin (PII) Belirlenmesi: Genişletilmiş Versiyon	50
2.2.3.2.Bilişsel Hata Olasılığının (CFP) Belirlenmesi	52
2.2.3.3.İnsan Hatası Olasılığının (HEP) Belirlenmesi	53
2.2.4. Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminin Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması	54
2.3. BİLİŞSEL GÜVENİLİRLİK HATA ANALİZİ YÖNTEMİ (CREAM) VE HATA AĞACI ANALİZİ (FTA)	57
2.4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜME TEORİSİ	59
2.4.1.Üyelik Fonksiyonları	60

2.4.2.Bulanık Sayılar	63
2.4.3.Sözel Değişkenler (Dilsel İfadeler)	65
2.4.4.Bulanık Denetim Sistemleri	66
2.4.5.Uzmanların Görüşlerinin Birleştirilmesi	68
2.4.6.Birleştirilmiş Uzman Kararının Durulaştırılması (Bulanık Olasılık)	70
2.4.7.Hata Olabilirliklerin Hata Olasılıklarına Dönüştürülmesi	71

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YOĞUN SUYOLLARINDA GEMİ ÇATIŞMA KAZALARININ RİSK ANALİZİ

3.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU	73
3.2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI	74
3.3. ARAŞTIRMANIN METODOLOJİSİ	74
3.3.1. Araştırmanın Modeli	75
3.3.2. Araştırmanın Süreci	75
3.3.3. Veri Toplama Aracının Oluşturulması	77
3.3.4. Uzmanların Seçimi ve Örneklem	78
3.4. NİTEL MODELİN OLUŞTURULMASI	79
3.4.1. Araştırma Probleminin Belirlenmesi	79
3.4.2. Kök Nedenlerin Belirlenmesi	80
3.4.2.1.Yoğun Suyollarında Çatışma Kazalarına İlişkin Yazın Taraması	80
3.4.2.2. Yoğun Suyollarında Gerçekleşen Çatışma Kazası Raporları	87
3.4.2.3. Kök Nedenlerin Uzman Görüşleri ile Güncellenmesi	92
3.4.2.4. Kök Nedenlerin Tanımlanması	92
3.4.2.5. Hata Ağacı Yapısının Oluşturulması	94
3.5.NİCEL MODELİN OLUŞTURULMASI	96
3.5.1. Kök Nedenlerin Hata Olasılıklarının Hesaplanması Süreci	96
3.5.1.1. İnsan Hatasıyla İlişkili Kök Neden Olasılıklarının Uzman Görüşüyle Elde Edilmesi	101
3.5.1.2. Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM)	

Uygulaması	101
3.5.1.3. Genişletilmiş Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) Uygulaması	105
3.5.1.4. Diğer Kök Nedenlerin Olasılıklarının Bulanık Mantık Teorisi ile Elde Edilmesi	109
3.5.1.5. Sözel Değişkenlerin Üyelik Fonksiyonlarını Belirleme	109
3.5.1.6. Uzman Görüşlerinden Hata Olabilirliklerin Hesaplanması	110
3.5.1.7. Uzman Seçimi ve Uzman Ağırlık Katsayısı Hesabı	111
3.5.1.8. Uzman Görüşlerinden Kök Nedenlerin Olasılıklarının Hesaplanması	112
3.5.1.9. Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi	112
3.5.1.10. Birleştirilen Bulanık Sayıların Durulaştırılması Süreci	113
3.5.1.11. Hata Olasılıklarının Hesaplanması	115
3.5.2. Hata Ağacı Analizi	116
3.5.2.1. Minimum Kesim Kümelerinin ve Tepe Olayın Hata Olasılığının Hesaplanması	116
3.5.2.2. Minimum Kesim Kümelerinin Sıralaması	117
3.6. ARAşTIRMANIN KISITLARI	119
3.7. BULGULAR	119
3.8. ARAşTIRMANIN BULGULARININ TARTIşILMASI	121
SONUÇ	125
KAYNAKÇA	131
EKLER	

KISALTMALAR

AIS	Otomatik Tanımlama Sistemi (Automatic Identification System)
ARPA	Otomatik Radar Pilotlama Desteği (Automatic Radar Plotting Aid)
ASV	Otonom Yüzey Araçları (Autonomous Surface Vehicles)
BBN	Bayes İnanç Ağı (Bayesian Belief Network)
BE	Basit Olay (Basic Event)
BRM	Köprüüstü Kaynak Yönetimi (Bridge Resource Management)
CASMET	Deniz Operasyonlarında Kaza Analizi Metodolojisi (Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations)
CII	Bağlam Etki İndeksi (Context Influence Index)
CFP	Bilişsel Başarısızlık Olasılığı (Cognitive Failure Probability)
CNIS	Kanal Seyir Bilgi Servisi (Channel Navigation Information Service)
COA	Alan Merkezi Yöntemi (COA-Center of Area)
COCOM	Bağlamsal Kontrol Modeli (Contextual Control Model)
COLREG	Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (International Regulations for Preventing Collisions at Sea)
CPA	En Yakın Yaklaşma Noktası (Closest Point of Approach)
CPC	Ortak Performans Koşulu (Common Performans Condition)
CREAM	Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (Cognitive Reliability Error Anaylsis Method)
ECDIS	Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi (Electronic Position Fixing System)
EMSA	Avrupe Deniz Emniyeti Ajansı (European Maritime Safety Agency)
FER	Bulanık Kanıtsal Muhakeme (Fuzzy Evidential Reasoning)
FTA	Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
FMEA	Hata Modu Etki Analizi (Failure Modes and Effect Analysis)
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information System)
HAZOP	Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard and Operability Studies)
HEART	İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (Human Error Assessment and Reduction Technique)

HEP	İnsan Hatası Olasılığı (Human Error Probability)
HFACS	İnsan Faktörü Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (Human Factors Analysis and Classification System)
HRA	İnsan Güvenilirliği Analizi (Human Reliability Analysis)
IMO	Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization)
ISM	Emniyetli Yönetim Sistemi (International Safety Management)
KEGM	Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquid Natural Gas)
MAIB	Marine Accident Investigation Branch
MARCS	Deniz Kazaları Risk Hesaplama Sistemi (Marine Accident Risk Calculation System)
MCS	Minimum Kesim Kümesi (Minimum Cut Set)
MLC	Deniz İş Sözleşmesi (Maritime Labour Convention)
MPA	Maritime and Port Authority of Singapore
NTSB	National Transportation Safety Board
PII	Performans Etki İndeksi (Performance Impact Index)
PSA	Olasılıksal Emniyet Değerlendirmesi (Probabilistic Safety Assessment)
RADAR	Radio Detection and Ranging
RCM	Risk Kontrol Önlemi (Risk Control Measure)
RCT	Risk Katkı Ağacı (Risk Contribution Tree)
SAM	Benzerlik Birleştirme Yöntemi (Similiarity Agreement Method)
SLIM	Başarı Olasılık İndeksi Yöntemi (Success Likelihood Index Method)
SMCP	Standart Denizcilik Haberleşme Kalıpları (Standard Marine Communication Phrases)
SMS	Emniyetli Yönetim Sistemi (Safety Management System)
TE	Tepe Olay (Top Event)
TRACEr	Bilişsel Hataların Retrospektif ve Tahmini Analizi Tekniği (Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors)
TSIB	The Transport Safety Investigation Bureau
TSS	Trafik Ayırma Düzenleri (Traffic Separation Scheme)
UAB	T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
V-FIM	Vesely-Fussell Önem Ölçümü (Vesely-Fussell Importance Measure)

VHF	Very High Frequency
VTs	Deniz Trafik Hizmetleri (Vessel Traffic Services)



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Deniz Kazası Tipleri	s.3
Tablo 2: Deniz Kazalarıyla İlgili Yapılmış Çalışmalar	s.6
Tablo 3: Son Beş Yılda İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemi Adedi	s.14
Tablo 4: Son Beş Yılda Çanakkale Boğazı'ndan Geçen Gemi Adedi	s.15
Tablo 5: Denizcilikte Risk analizi Çalışmalarında Kullanılan Teknik Kavramların Tanımları	s.22
Tablo 6: Ortak Performans Koşulları	s.42
Tablo 7: Kontrol Modları ve İnsan Hatası Olasılık Aralıkları	s.45
Tablo 8: Ortak Performans Koşulları ve Performans Güvenilirliği	s.46
Tablo 9: Kontrol Modları ve Bağlam etki indeksi (CII) değerleri	s.48
Tablo 10: Ortak Performans Koşulları (CPC) için PII değerleri	s.51
Tablo 11: Bilişsel Hata Türleri için Nominal CFP Değerleri	s.52
Tablo 12: Bir Görevin HEP Değerini, Alt Görevlerinin HEP Değerlerinden Hesaplama	s.54
Tablo 13: Kök Nedenlerinin Belirlenmesi Aşamasında Görüşülen Uzman Bilgileri	s.78
Tablo 14: Yoğun Suyollarında Çatışma Kazalarına Yönelik Çalışmalar	s.80
Tablo 15: Yazın taraması sonucu ortaya çıkarılan kök nedenler	s.86
Tablo 16: İncelenen Kaza Raporları ve Kök Nedenleri	s.87
Tablo 17: Kaza Raporlarından Elde Edilen Kök Nedenler	s.91
Tablo 18: Uzman Görüşler ile Kaza Nedenlerinin Güncellenmesi	s.92
Tablo 19: Kök Nedenlerin Tanımlanması	s.93
Tablo 20: Kök Nedenlerin Olasılıklarının Belirlenmesi Sırasında Görüşülen Uzman Bilgileri	s.97
Tablo 21: Ortak Performans Koşulu (CPC) Değerlendirmesinin Tanımlayıcıları	s.103
Tablo 22: Performans güvenilirliği üzerinde beklenen etki	s.104
Tablo 23: Basit Olayların CII Değerleri	s.105
Tablo 24: Basit Olayların Ortak Performans Koşulları (CPC) için PII değerleri	s.106

Tablo 25: Genişletilmiş CREAM’e Dayalı Güvenilirlik Analizi	s.108
Tablo 26: Sözel Değişkenler ve Bulanık yelik Fonksiyonları	s.110
Tablo 27: Uzman Ağırlık Katsayısı Belirleme Kriterleri	s.111
Tablo 28: Uzman Profili ve Ağırlık Katsayıları	s.111
Tablo 29: İnsan Hatasıyla İlgili Olmayan Basit Olaylar zerine Sözel Uzman Görüşleri	s.112
Tablo 30: İnsan Hatasıyla İlgili Olmayan Basit Olaylara Ait Birleştirilmiş Bulanık Sayılar	s.113
Tablo 31: Basit Olaylar için Bütünleşik Uzman Görüşleri	s.114
Tablo 32: Her Bir Kök Nedene Ait Durulaştırılmış Hata Olabilirlikleri (Defuzzied Failure Possibility)	s.114
Tablo 33: Her Bir Basit Olaya Ait Hata Olasılıklarının Hesaplanması (Failure Probability)	s.115
Tablo 34: Yoğun Suyollarında atışma Kazalarının Kök Nedenlerine Ait Minimum Kesim Kümeleri	s.117
Tablo 35: Minimum Kesim Kümelerinin Belirlenen nem Derecelerine Göre Sıralaması	s.118
Tablo 36: Olasılığı En Yüksek Olan 10 Minimum Kesim Kümesi	s.118

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Gemi Kazalarının Türüne Göre Ölüm Oranları	s.4
Şekil 2: Malacca ve Singapur Boğazı	s.11
Şekil 3: Cebelitarık Boğazı	s.12
Şekil 4: İngiliz Kanalı ve Dover Boğazı	s.13
Şekil 5: Basit Olay Sembolü	s.25
Şekil 6: Gelişmemiş Olay Sembolü	s.26
Şekil 7: Harici Olay Sembolü	s.26
Şekil 8: Ara Veya Tepe Olay Sembolü	s.26
Şekil 9: Şartlandırılmış Olay Sembolü	s.27
Şekil 10: Ve Kapısı	s.27
Şekil 11: Veya Kapısı	s.28
Şekil 12: Transfer in Sembolü	s.28
Şekil 13: Transfer out Sembolü	s.29
Şekil 14: Basit Hata Ağacı Gösterimi	s.32
Şekil 15: Fenotipler Ve Genotipler Arasındaki Etkileşim	s.41
Şekil 16: Operatör Kontrol Modları	s.45
Şekil 17: Bağlam Etki İndeksi (CII) ve Kontrol Modları	s.48
Şekil 18: Üçgen Üyelik Fonksiyon	s.62
Şekil 19: Yamuk Üyelik Fonksiyonu	s.62
Şekil 20: Üyelik Fonksiyonu	s.63
Şekil 21: Genelleştirilmiş Bir A Yamuk Bulanık Sayısı	s.65
Şekil 22: Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı	s.67
Şekil 23: Ağırlık Merkezi Durulaştırma Yöntemi	s.68
Şekil 24: Araştırmanın Modeli	s.76
Şekil 25: Araştırmanın Süreçleri	s.77
Şekil 26: Hata Ağacı Yapısı	s.98
Şekil 27: Hata Ağacı Yapısı Emniyetsiz Eylemler	s.99
Şekil 28 : Hata Ağacı Yapısı Emniyetsiz Koşullar	s.100

EKLER LİSTESİ

EK 1: CREAM Uygulamasına Yönelik Soru Formu	ek s.1
EK 2: Bulanık Mantık Uygulamasına Yönelik Soru Formu	ek s.3
EK 3: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan Alınan İlgili Etik Kurulu Belgesi	ek s.4



GİRİŞ

Deniz yolu taşımacılığı, küreselleşen dünyada giderek daha önemli hale gelmektedir. Deniz yolu taşımacılığına talep arttıkça denizde emniyet ve kazayı önleme konuları da ön plana çıkmaktadır. Bilindiği gibi bir deniz kazası çevre, can ve mal emniyeti açısından çok büyük hasarlara sebep olabilmektedir. Yaşanmış büyük deniz kazalarına baktığımızda geride bıraktığı yıkımlar ve zararlar ciddi boyuttadır.

Hem çevrenin korunması hem can ve mal emniyeti için deniz kazalarını önlemek çok hayati bir husustur. Buna yönelik çeşitli çalışmalar ve uygulamalar bulunmaktadır. Kazaları önlemenin yollarından biri geçmiş kazalardan ders çıkarıp denizde emniyeti arttırmaya yönelik doğru önlemleri almaktır. Bu noktada kazalara yönelik gerçekleştirilen risk analizi, kazaları önlemek ve emniyeti arttırmak için önemli bir araçtır.

Deniz yolu taşımacılığına artan talep sonucu, dünyanın önemli ticari bölgelerini bağlayan önemli su yollarındaki trafik yoğunluğu da gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda yıllar içinde gelişen teknoloji ile beraber çeşitli elektronik cihazlar ve seyir yardımcıları günümüzde yoğun su yollarında seyreden gemiler için seyri kolaylaştırmaktadır. Ancak bu yoğun su yolları incelendiğinde fiziksel yapıları, derinlikleri, çevre koşulları ve trafik yoğunluğu gibi sebeplerle özellikle çatışma kazalarının sıklıkla yaşanmaya devam ettiği görülmektedir.

Bu çalışmada yoğun su yollarında gerçekleşen çatışma kazaları, kazalara ilişkin yazın incelenmiştir. İncelemeler sonucu yoğun su yollarında çatışma kazalarına yol açan kök nedenler uzman görüşü de alarak belirlenmiş ve yoğun su yollarında çatışma kazalarının risk analizini gerçekleştirmek amacıyla hata ağacı yapısı oluşturulmuştur. Hata ağacındaki insan hatasıyla ilişkili kök nedenlerin olasılığını belirlemek için Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) kullanılmış, İnsan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerin olasılığını belirlemek için Bulanık Mantık kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde deniz kazası türleri incelenmiş, geçmişte yaşanmış bazı büyük deniz kazaları ve sonuçları değerlendirilmiştir. Deniz kazalarıyla alakalı yazın taraması gerçekleştirilmiştir. Dünyada ön plana çıkan yoğun su yolları

incelenmiş, bu su yollarının fiziksel koşulları ve trafik yapısı değerlendirilmiştir. Yoğun su yollarına yönelik yazın taraması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde risk analizi ve riskle alakalı Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün kullandığı kavramlar ele alınmıştır. Hata Ağacı Analizi, Bulanık Mantık ve Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi yöntemleri açıklanmıştır. Bu yöntemlere yönelik yazın taraması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde araştırmanın amacına yönelik gerçekleştirilen nitel ve nicel araştırmalara yer verilerek, araştırmanın konusu ve kapsamı, yöntemi, modeli sıralanmıştır. Hata ağacı yapısını oluşturmak üzere yoğun su yollarında gerçekleşmiş çatışma kaza raporları incelenerek ve konuyla alakalı yazın taraması yapılarak uzman görüşü de alınarak kök nedenler belirlenmiş ve hata ağacı yapısı oluşturulmuştur. İnsan hatalarıyla ilişkili kök nedenlerin olasılıkları Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi ile diğer kök nedenlerin olasılıkları ise Bulanık Mantık ile belirlenmiş ve sonrasında yoğun su yollarında çatışma kazalarının risk değerlendirmesi Hata Ağacı Analiziyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu bölümde bulgulara, araştırmanın kısıtlarına yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

DENİZ KAZALARI VE YOĞUN SUYOLLARI

Deniz taşımacılığının başlangıcından bu yana, bir gemide sıklıkla ölümlere, ciddi yaralanmalara ve farklı türlerde maddi hasara neden olan istenmeyen anormal olaylar olan deniz kazaları, küresel denizcilik topluluğu için önemli bir sorun olmuştur (Luo & Shin, 2019). Denizcilik teknolojisi ve emniyet yönetimindeki devam eden ilerlemelere rağmen, deniz kazaları meydana gelmeye devam etmekte ve hem insanlara hem de çevreye önemli zararlar vermektedir (Shi ve diğerleri, 2021). 2014 ile 2021 yılları arasında, yılda ortalama 2.647 olmak üzere 21.173 deniz kazası ve olayı bildirilmiştir (EMSA, 2022).

1.1. DENİZ KAZASI TİPLERİ

Denizde gerçekleşen pek çok kaza tipi bulunmaktadır. Bu kaza tipleri Tablo 1’de görüldüğü gibi sıralanabilir (EMSA, 2022:50).

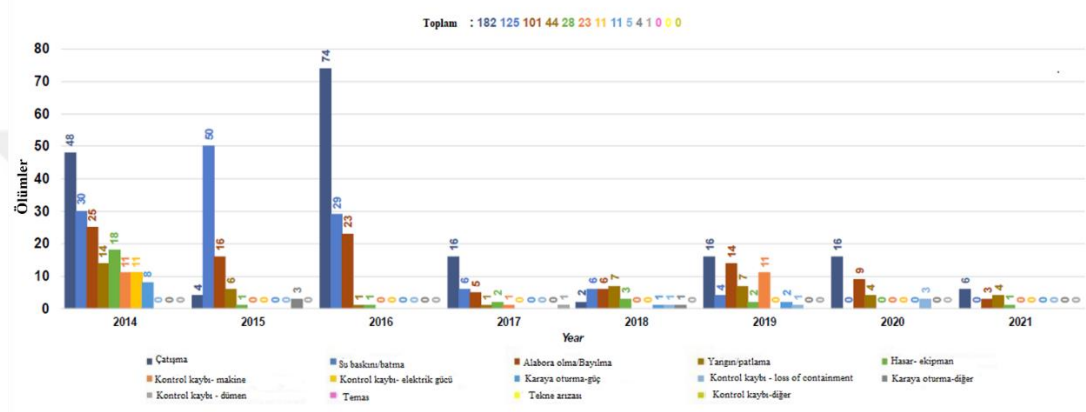
Tablo 1: Deniz Kazası Tipleri

Alabora Olma/Bayılma (Capsizing/Listing)	Negatif başlangıç stabilitesi (negatif metasentrik yükseklik) veya ağırlık merkezinin enine kayması veya dış kuvvetlerin etkisi nedeniyle geminin yüzerliğinin zarar gördüğü kazalardır.
Temas (Contact)	Gemilerin harici bir objeye çarpması veya obje tarafından çarpılması sonucu oluşan zayıttır. Objeler şunlar olabilir; yüzen obje (kargo, buz, diğer veya bilinmeyen); sabit obje-ancak deniz dibi değil- .
Ekipman Hasarı (Damage to Equipment)	Ekipmana, sisteme veya gemiye verilen ve diğer herhangi bir kaza türünün kapsamına girmeyen hasardır.
Karaya oturma (Grounding/Stranding)	Hareket halindeki bir geminin- kumanda altında veya kumanda altında değil , drifte- deniz dibine, kıyıya veya su altı enkazlarına çarptığı kazadır.
Yangın/Patlama (Fire/Explosion)	Bir gemide yanıcı kimyasalların ve diğer malzemelerin kontrolsüz bir şekilde tutuştuğu kazalardır.
Su Baskını/Batma (Flooding/Foundering)	Gemi güverteye su alırken meydana gelen bir zayıt olayıdır.
Tekne Arızası (Hull failure)	Geminin genel yapısal gücünü etkileyen bir arızadır.
Tesadüfi olmayan yapısal arıza (NASF)	Geminin denize elverişliliğini etkileyen, gövdede çatlaklar ve kırıkların olduğu senaryolar.
Kontrol Kaybı (Loss of Control)	Gemi operasyonu veya manevra kabiliyetinin tamamen ya da geçici olarak kaybedilmesi, elektrik gücünün kesilmesi veya gemideki kargo ya da diğer maddelerin kaybı durumudur.
Kayıp (Missing)	Belirli bir süre sonra kaybı ve nerede olduğu hakkında hiçbir bilgi alınmadan, akıbeti belirlenemeyen gemi zayıttır.
Çatışma (Collision)	Gemilerin seyir halinde, demirli veya limanda olmasına bakılmaksızın, gemilerin başka bir gemiye çarpması veya başka bir gemi tarafından çarpılması sonucu meydana gelen zayıttır. Bu tür zayıt olayı, su altı enkazına çarpan gemileri kapsamaz. Çatışma başka bir gemiyle veya birden fazla gemiyle veya seyir halinde olmayan gemiyle olabilir.

Kaynak: EMSA, 2022:50

EMSA, (2022) verilerine göre Şekil 1’de de görüldüğü gibi 2014’ten 2021’e kadar gerçekleşen kazalarda hem ölümle sonuçlanan hem de yaralanmalarla sonuçlanan ana olay bir gemi ile ilgili olduğunda çatışma kazası olmuştur. EMSA verilerinden de anlaşıldığı gibi çatışma kazasının ciddi sonuçlarından ve yoğun su yollarında gerçekleşme sıklığı fazla olduğundan dolayı bu çalışmada kaza türü olarak çatışma seçilmiştir.

Şekil 1: Gemi Kazalarının Türüne Göre Ölüm Oranları



Kaynak: EMSA, 2022:28

Çatışmadan kaçınma, denizcilerin karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir (Statheros ve diğerleri, 2008:130). Deniz trafiği insani, çevresel ve ekonomik kayıplar açısından çeşitli riskler taşımaktadır. Gemi çatışmalarının risk analizinde, bu tür kazaların olasılıkları ve yol açtıkları sonuçlar için makul bir tahmin elde etmek önemlidir (Goerlandt ve Kujala, 2011:91).

1.1.1.Geçmişteki Büyük Kazalar

Geçmişte meydana pek çok büyük deniz kazası meydana gelmiştir. Bunlardan bilineni olan Titanic kazasında, gemi bir buzdağına çarparak iki saat kırk dakika içinde batmış ve 1501 kişi hayatını kaybetmiştir (Frey ve diğerleri, 2011:209).

25 Temmuz 1956'da İtalyan yolcu gemisi SS Andrea Doria, Nantucket Adası'nın 45 mil güneyinde yoğun siste İsveç gemisi MS Stockholm ile çatışmıştır. Stockholm'ün pruvası, Andrea Doria'nın sancak tarafının ön kısmını delerek su

almasına ve ciddi bir yalpalamaya neden olmuştur. Olay doğu kıyısına yakın bir yerde meydana geldiği için, çok sayıda gemi yakınlarda olduğundan hızlı bir şekilde müdahale edilmiştir. Stockholm, güvenli bir şekilde liman yaptığı New York'a kadar ulaştırılmıştır. Doria birkaç saat dayanmış ve batmadan önce tamamen boşaltılmıştır. Doria, 1.134 yolcu ve 572 mürettebat taşımaya rağmen, Stockholm'den beş mürettebatla birlikte 46 yolcu ölmüştür (Moyer, 2014:734).

Dünyanın ilk büyük süper tanker felaketi olarak bilinen Torrey Canyon'un karaya oturması sonucunda 119.000 ton ham petrol sızıntısı gerçekleşmiş ve bu kaza sonucu Güney İngiltere (Cornish sahilinin yaklaşık 200 km'si), Channel Adaları ve kuzeybatı Fransa sahilleri döküntüyle kaplanmış ve 25.000'den fazla deniz kuşu ile çok sayıda başka deniz organizması ölmüştür (Wells, 2017:1).

1987 yılında ise Filipinli yolcu feribotu MV Dona Paz ile tanker gemisi MT Vector'un çatışması ve patlaması sonucu resmi rakamlara göre 1856 kişi hayatını kaybetmiştir (Perez ve diğerleri, 2011:33-37). Yine aynı yılda, bir araba ve yolcu feribotu olan Herald of Free Enterprise Belçika'nın Zeebrugge limanından ayrıldıktan birkaç dakika sonra alabora olmuş ve 193 yolcu ve mürettebat hayatını yitirmiştir (Tarelko, 2012:849). Yirminci yüzyılın sonlarının en ölümcül deniz felaketlerinden biri olarak kabul edilen MV Estonia'nın 28 Eylül 1994'te Baltık

Denizi'nde batması sonucunda ise 852 kişi hayatını kaybetmiştir (Tarelko, 2012:850). 2008'de ise Fengshen Tayfunu doğu Filipinler'e inerken yola çıkan Princess of the Stars feribotu Romblon Adası açıklarında fırtınanın ortasında alabora olmuş ve 814 kişi ölmüş ve sadece 56 kişi hayatta kalmıştır (Golden ve Weisbrod, 2016:21).

Geçmişteki yaşanmış büyük kazalardan verilen birkaç örnekten de anlaşılacağı gibi bir deniz kazasının hem insan hayatı için hem çevre için hem de ekonomi için çok ciddi sonuçları bulunmaktadır. Bu noktada deniz kazalarını önlemek sektörün önemli bir endişesi olmuştur. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), risk analizi, yönetim stratejileri ve tavsiyeler yoluyla deniz emniyetini artırmayı amaçlayan sistematik ve kapsamlı bir süreç olan Resmi Güvenlik Değerlendirmesini (FSA) uygulamaya koymuştur. Kazaları önlemeye yönelik çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

1.1.2. Deniz Kazalarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Deniz kazalarıyla alakalı çalışmaların bazılarının kaza analizine odaklandığı, bazılarının insan hatasına odaklandığı, diğerlerinin ise risk analizine odaklandığı görülmektedir. Bu makalelerin bir kısmı belli kaza türlerini ele alırken, bir kısmı ise tüm kaza türlerini birlikte değerlendirmiştir. Bazı makalelerin ise özellikle Kutup bölgeleri gibi belli bölgelere odaklandığı görülmektedir.

Deniz kazalarıyla ilgili 2000-2022 yıllarında deniz kazalarıyla ilgili yayınlanmış WoS veritabanına göre en çok atıf alan ilk 10 makaleye dair literatür tablosu aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir (Yurt ve Şakar, 2023:97).

Tablo 2:Deniz Kazalarıyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

	Yazar ve Yayın Yılı	Kaynak başlığı	Yayıncı ve WOS kategorisi	Bilimsel katkısı	Çalışmanın amacı	Methodoloji	Araştırma Örneklemi
1	Chauvin et al., 2013	ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION	Elsevier; Transportation	Bu çalışma, kısıtlı su yollarında gemide pilotlu seyir için köprüüstü kaynak yönetiminin önemini ortaya koymaktadır.	denizde çatışmanın metodik ve çok faktörlü bir analizini sunmak için kaza türlerini çeşitli insan ve organizasyon faktörlerine göre sınıflandırmak	Human Factor Analysis and Classification System (HFACS).	Çatışma kazası
2	Harati-Mokhtari et al.,2007	JOURNAL OF NAVIGATION	Cambridge University Press; Engineering, Marine	Bu çalışmaya göre, AIS'nin belirtilen amaç ve hedeflerine ulaşması için düzenleyici otoriteler de dahil olmak üzere bir dizi paydaştan ek eylemlere ihtiyaç vardır.	AIS'nin (Otomatik Tanımlama Sistemi) gemi köprüüstlerindeki uygulanmasını ve seyir emniyeti üzerindeki olası etkilerini araştırmak.	"Swiss Cheese" Model	AIS çalışmaları
3	Montewka et al.,2014	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	Elsevier; Engineering, Industrial	Bu çalışma, deniz taşımacılığı sistemi için bütünsel bir risk modeli oluşturmaktadır.	riskin belirlenmesi için sistematik ve proaktif bir çerçeve geliştirmek.	Bayesian Belief Networks	Bir RoPax içeren açık deniz çatışma kazaları
4	Hannien et al.,2012	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	Elsevier; Engineering, Industrial	Model, bir karşılaşma sırasında yön değiştirmenin en önemli bileşen olduğunu ve bunu zabitin etkinliği, durum değerlendirmesi, tehdit algılama, kişisel durum ve iş göremezlik gibi unsurların izlediğini göstermektedir.	Finlandiya Körfezi'ndeki gemi çatışma olasılığını önemli ölçüde etkileyen unsurları belirlemek	Bayesian network	Finlandiya Körfezi'ndeki Çatışma Kazaları

5	Chen et al., 2013	SAFETY SCIENCE	Elsevier; Engineering, Industrial	Bu çalışma, deniz kazalarını incelemek ve değerlendirmek için yeni bir HFACS analojisi önermektedir.	deniz kazalarının araştırılması ve değerlendirilmesi için belirli bir İnsan ve Organizasyonel Faktörler (HOF'ler) çerçevesi sağlamak	Human Factors Analysis and Classification System for Maritime Accidents (HFACS-MA)	Herald of Free Enterprise
6	Wrobel et al., 2017	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	Elsevier; Engineering, Industrial	Bulgular, otonom gemiler daha yaygın hale geldikçe, seyir kazalarının daha az yaygın hale gelmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, insansız gemi kazalarının sonuçlarının derecesinin, özellikle seyir dışı kazalar söz konusu olduğunda, konvansiyonel gemilere göre önemli ölçüde daha fazla olacağı tahmin edilebilir.	gemi insansız olsaydı kazanın meydana gelip gelmeyeceğini ve kaza olsaydı kazanın sonuçlarının farklı olup olmayacağını değerlendirmek.	HFACS-MA and What-If Analysis	100 Deniz Kazası Raporu
7	Eleftheria et al., 2016	SAFETY SCIENCE	Elsevier; Engineering, Industrial	Çalışma, gemi kazalarının genel olarak son on yılda daha sık görülmesine rağmen, farklı gemi tiplerinin emniyet seviyelerinin fazla değişmediğini ve etkilerinin ortalamaya ciddiyetinin nispeten sabit kaldığını ortaya koymaktadır.	Ticari gemilerin tüm temel kategorilerinin emniyetini kaza oluşumu, başlangıç sıklıkları ve temel sonuçlar açısından değerlendirmek. Geçmiş verilerin istatistiksel analizi ile faaliyet halindeki dünya filosunun risk seviyesini ölçmek.	Formal Safety Assessment	2000–2012 Dönemindeki Deniz Kazaları
8	Kum et al., 2015	SAFETY SCIENCE	Elsevier; Engineering, Industrial	Mürettebat eğitim kılavuzlarının, yeterlilik standartlarının geliştirilmesi ve Kuzey Kutbu eğitim tesislerinin kurulması için bu çalışmanın bulgularından yararlanabilir.	Deniz Kazası Araştırma Şubesi'nin (MAIB) 1993 ile 2011 yılları arasında 66°33' kuzeyde meydana geldiğini belgelediği deniz olaylarına ilişkin kök neden analizi yapmak.	Root Cause Analysis (RCA) and Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA)	1993'ten 2011'e Gerçekleşmiş Kuzey Kutbu Deniz Kazaları
9	Zhang et al., 2016	OCEAN ENGINEERING	Elsevier; Engineering, Marine	Bu çalışmada, AIS verilerini kullanarak gemiler arasındaki ramak kalaları belirlemek için geliştirilmiş bir yaklaşım sağlanmış ve ek uzman analizi gerektiren ramak kalaların sıklığını azaltmada etkili olduğu gösterilmiştir.	özellikle açık deniz ve kıyılı kıyıl deniz alanlarında, gemiler arasındaki ramak kalalar için deniz trafiği verilerini analiz etmek.	Trafik çatışması tekniğinin ilkelerine dayanan yeni bir teknik	Kuzey Baltık Denizi AIS Verileri
10	Fowler et al., 2000	RISK ANALYSIS	Wiley; Mathematics, Interdisciplinary Applications	Avrupa Toplulukları Komisyonu (CEC) projesi "Kıyıl Sularında Deniz Taşımacılığı Emniyeti" (SAFECD) sonuçları bu makalede sunulmaktadır.	kıyıl sularında deniz taşımacılığının emniyetini arttıracak etkilerin belirlenmesi.	Marine Accident Risk Calculation System (MARCS)	Örnek olay alanı, Lloyd's Denizcilik Bilgi Sistemi kaza veri tabanındaki Kuzey Denizi bölgesidir.

Kaynak: Yurt ve Şakar, 2023:97

Çalışmalarda kaza analizi için pek çok yeni yöntem öne sürülmüştür. Graziano ve diğerleri (2016), karaya oturma ve çatışma olaylarını analiz etmek için Bilişsel Hataların Retrospektif ve Tahmini Analizi Tekniğini (TRACer), CASMET'in (Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations) kaza analizi tekniğiyle entegre ederek yeni bir yaklaşım önermiştir. Bye ve Aalberg (2018), çatışma ve karaya

oturma kazalarına neden olan faktörleri belirlemek için AIS (Otomatik Tanımlama Sistemi) verilerinin ve Norveç sularından alınan deniz kazası verilerinin istatistiksel bir analizini gerçekleştirmiştir. Uğurlu ve ark., (2018) ise yolcu gemilerinde çatışma ve temas kazalarında insan faktörü analizi gerçekleştirmiştir.

Deniz kazalarında insan ve organizasyonel faktörlerin önemini vurgulayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Hetherington ve diğerleri (2006), yorgunluk, stres, sağlık, durum farkındalığı, ekip çalışması, karar verme, iletişim, otomasyon ve güvenlik kültürüyle ilgili 20 çalışmayı incelemiş ve bireysel ve organizasyonel faktörlerin gemi kazalarına etkilerini tanımlamıştır. Chauvin et diğerleri (2013); kaza tiplerini farklı insan ve organizasyonel faktörleri modelleriyle karakterize ederek denizdeki çatışma kazalarının sistematik ve çok faktörlü bir analizini sunmak amacıyla Deniz Kazası ve Soruşturma Şubesi (Birleşik Krallık) ve Ulaştırma Emniyeti Kurulu (Kanada) tarafından rapor edilen, denizcilik bağlamına uyarlanmış ve çatışmalardaki insan ve organizasyon faktörlerini analiz etmek için kullanılan İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sisteminin(HFACS) değiştirilmiş bir versiyonunu sunmuştur. Chen ve diğerleri de (2013), deniz kazalarının incelenmesi ve analizine yönelik Deniz Kazaları için İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS-MA) olarak adlandırdıkları özel bir insan ve organizasyonel faktörler çerçevesi geliştirilmiştir. Herald of Free Enterprise felaketiyle de yöntemi uyguladıkları bir vaka çalışması sunmuşlardır. Ancak Qiao ve diğerleri (2020) denizcilik endüstrisinde insan faktörleriyle ilgili yetersiz veri olduğundan, deniz kazalarında insan faktörlerinin rolünü değerlendirmenin zor olduğunu öne sürmüştür (Qiao ve diğerleri,2020:958) .

Deniz kazalarıyla ilgili gerçekleştirilen bazı çalışmalar ise risk analizine odaklanmıştır. Kulkarni ve diğerlerine (2020) göre, su yolları ve deniz alanlarındaki risk değerlendirilerek ve seyir emniyetini artıran önleyici eylemlerle destekleyerek kazalardan kaçınılabilir (Kulkarni ve diğerleri,2020:1). Fan ve diğerleri (2020); Kulkarni ve diğerlerine benzer şekilde, deniz kazalarının çoğunun düşük olasılıklı ancak ciddi sonuçları olduğu için, denizcilik operasyonları için risk değerlendirmesinin önemli olduğunu belirtmiştir (Fan ve diğerleri,2020:1). Bununla birlikte, Awal ve Hasegawa (2017), risk analizinin denizcilik bağlamında sıklıkla kullanılmasına rağmen, kullanımının risk kontrol seçenekleriyle sınırlı olduğuna değinmiştir (Awal ve Hasegawa,2017:304). Fan, Blanco-Davis ve diğerlerinin (2020)

araştırmasına göre "gemi yaşı", "gemi operasyonu", "sefer segmenti", "bilgi" ve "gemi durumu" farklı deniz kazaları türlerini etkileyen kilit risk faktörleri olarak öne sürülmüştür.

Kum ve Sahin (2015) 1993 ve 2011 yılları arasında Kuzey Kutup Bölgesi'nde meydana gelen kazalar için kök neden analizi gerçekleştirmiştir. Kececi ve Arslan (2017) deniz kazalarının incelenmesinde bugüne kadar uygulanan kök neden taksonomilerini birleştiren yeni bir taksonomi önermişlerdir.

Deniz kazalarıyla ilgili yapılmış çeşitli bibliyometrik çalışmalar da bulunmaktadır. Baltık Denizi bölgesine odaklanan risk yönetimi çalışmalarının bibliyometrik bir analizi Kulkarni ve diğerleri (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde, Fu ve diğerleri (2021), Kuzey Kutbu bölgesinde risk yönetimine ilişkin bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizini ortaya koymuştur. Gil ve diğerleri (2020) kaza önlemeye yönelik gemi karar destek sistemlerinin bibliyometrik bir analizini ve sistematik değerlendirmesini yapmıştır (Gil ve diğerleri, 2020:1-22). Dominguez-Péry, (2021) insan hatasıyla ilgili deniz kazalarının bibliyometrik analizini gerçekleştirmiştir (Dominguez-Péry, 2021:1512-1537). Wróbel (2021) kazalarının yaklaşık %80'inden insanların sorumlu olduğuna dair yaygın görüşü doğrulamak ve bunların kökenlerini belirlemek için bir yazın taraması yapmıştır (Wróbel, 2021:1-12).

Literatüre baktığımızda deniz kazalarının pek çok açıdan ele alındığı ve özellikle risk analizi ile insan hatası çalışmalarına odaklanıldığı görülmektedir. Günümüzde denizcilikte teknolojik konularda epey yol katedilmiş olmasına rağmen insan faktörü hala emniyet üzerindeki güçlü etkisini korumaktadır.

1.2. YOĞUN SUYOLLARI

Deniz ticareti uluslararası ticaretin temeli olduğu için büyük önem taşımaktadır. Artan dünya nüfusu ve ticaret ağının genişlemesiyle taşınan yük miktarı her geçen gün artmaktadır ve bu da özellikle önemli geçiş noktalarındaki suyuollarının trafik yoğunluğunun atmasına neden olmaktadır.

Suyollarındaki trafik yoğunluğuyla ilgili yapılmış özel ve net bir tanım olmasa da trafik yoğunluğu, her bir kullanıcı türü için istenen duruma kıyasla bir tesisin yoğun ve aşırı kullanılması durumu şeklinde tanımlanabilir (Rudolph, 2016:7).

Dünyadaki yoğun su yollarından bazıları şunlardır; İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı, Singapur Boğazı, Cebelitarık Boğazı, Dover Boğazı (Endrina ve diğerleri, 2018a:141; Özlem ve diğerleri, 2021:657; Uğurlu ve diğerleri, 2016:357; Yıldız ve diğerleri, 2022a:1-3). Yoğun su yollarının pek çoğunda trafik akışını ayırmak ve böylece çatışma (ve karaya oturma) riskini en aza indirmek için Trafik Ayırma Düzenleri (TSS) veya diğer gemi yönlendirme sistemleri bulunmaktadır (Pedersen ve diğerleri, 2003:411-412).

Malacca ve Singapur Boğazı, Hint ve Pasifik okyanusları arasındaki en kısa ve en uygun rota olarak faaliyet gösteren dünyanın en önemli kanallarından biridir. Avrupa Birliği, Orta Doğu, Hindistan, Çin, Japonya, Güney Kore ve diğer bazı Asya-Pasifik ülkelerinin ana ekonomilerini ve ticaret merkezlerini birbirine bağlar (Qu ve diğerleri, 2011a:2030). Bu boğazlardan dünyada ticareti yapılan ürünlerin yaklaşık üçte birinin yanısıra Kuzeydoğu Asya'ya taşınan petrolün %80'ini taşıyan günlük bazda 300'den fazla veya yılda yaklaşık 100.000 gemi geçmektedir (Qu ve Meng, 2012:8430). Avrupa ve Orta Doğu'yu Asya-Pasifik'e bağlayan 800 km (500 mil) uzunluğundaki Malacca Boğazı, dünya ticaretinin yaklaşık %40'ını taşımaktadır (Zaman ve diğerleri, 2014:91). Singapur Boğazı, batıda Malacca Boğazı'ndan doğuda Güney Çin Denizi'ne kadar 105 km'den fazla uzanır ve minimum genişliği yaklaşık 16 km'dir (Kang ve diğerleri, 2019:329). Her yıl yaklaşık 70.000–80.000 geminin geçtiği boğaz, tonaj bakımından dünyanın en işlek dar su yolu olarak kabul edilmektedir (Bateman ve diğerleri, 2007:314). Trafik yoğunluğunun yanı sıra adalara olan yakınlığı ve boğazın sığlığı dar su yolundan geçişi daha da zorlaştırmaktadır. Singapur Boğazı, bölgedeki adalar ve boğaza girmiş kara kütleleri nedeniyle çok dardır, örneğin en dar yeri 0,5 deniz mili ile Tahong Şamandırmasıdır. Boğazda Trafik Ayırma Düzeni'nin (TSS) doğu ve batı girişlerinde ve emniyetli trafik şeridinin kuzey tarafında demirleme yerleri bulunmaktadır (Yıldız ve diğerleri, 2022:2).

Şekil 2: Malacca ve Singapur Boğazı



Kaynak: ILS, 2023

Cebelitarık Boğazı, İber Yarımadası'nın (İspanya) en güney ucu ile Afrika'nın (Fas) kuzeybatı ucu arasında yer alan dar bir su yoludur. Atlantik Okyanusu'nu Akdeniz'e bağlar ve deniz ticareti için stratejik açıdan önemli bir geçittir. Günlerin %54'ünden fazlasında orta ila zayıf görüş ve günlerin %13'ünde sürekli sis koşullarıyla boğazda olumsuz hava şartları yaygındır (Periáñez, 2004:614). Bilindiği gibi zengin bir denizcilik tarihine sahip olan boğaz, coğrafi önemi nedeniyle yüzyıllar boyunca önemli bir deniz taşımacılığı rotası olmuştur. Atlantik Okyanusu ile Akdeniz arasında bir geçit görevi görerek, gemilerin Afrika kıtasını dolaşmak zorunda kalmadan iki su kütlesi arasından geçmesine olanak sağlamaktadır. Boğazın stratejik konumunun sonucunda bölgede kaydedilen deniz trafiği yılda yaklaşık 110.000 gemi hareketinden meydana gelmektedir (Endrina ve diğerleri, 2018:141).

Şekil 3: Cebelitarık Boğazı



Kaynak : World Atlas, 2023

Dover Boğazı, Birleşik Krallık'ı (özellikle İngiltere'nin güneydoğu kıyısı) anakara Avrupa'dan (özellikle Fransa'nın kuzeydoğu kıyısı) ayıran dar bir su parçasıdır. İngiliz Kanalı'nın Atlantik Okyanusu ile Kuzey Denizi'ni birbirine bağlayan en dar kısmı olan Dover Boğazı, en dar noktasında yaklaşık 18 deniz mili genişliğindedir. Dünyanın en işlek dar su yollarından biri olan Dover Boğazının ortalama derinliği yaklaşık 45 metredir (Gibbard, 1995:15-17) . Boğazdan her gün 400'den fazla ticari gemi (yılda 150.000'den fazla) geçmektedir. Boğazda gemi trafik hizmetleri Fransa ve İngiltere olmak üzere iki farklı ülkenin işbirliği ile yürütülmektedir. Kuzey-doğu yönünde geçen gemiler Fransız Sahil Güvenliğine, güney-batı yönünde geçen gemiler ise Channel Navigation Information Service'e (CNIS) rapor vermek zorundadır (Yildiz ve diğerleri, 2022a:10).

Şekil 4: İngiliz Kanalı ve Dover Boğazı



Kaynak: World Atlas, 2023.

İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizinden oluşan Türk Boğazları, stratejik konumları nedeniyle yüzyıllardır hayati önem taşıyan su yolları olmuştur. Karadeniz ile Akdeniz arasındaki tek deniz bağlantısı olarak hizmet vermesi dolayısıyla ticaret ve ulaşım için çok önemli bir geçiş sağlamaktadırlar. Güneydoğu Avrupa ile Küçük Asya arasında yer alan Karadeniz karayla çevrili olduğundan dünya okyanuslarıyla bağlantısı Türk Boğazları ile sağlanmaktadır. Bu, boğazları bölge ve ötesindeki ülkeler için deniz ticareti ve denizcilik faaliyetleri için çok önemli bir geçit haline getirmektedir. Toplam 164 mil uzunluğunda olan Türk Boğazları, coğrafi konumu, fiziki yapısı ve kendine özgü özellikleriyle, deniz ulaşımında kullanılan dünyadaki en uzun doğal ve dar su yollarındandır (Kurumahmut, 2006:16). Bu toplam değer 17 deniz mili İstanbul boğazı, 110 deniz mili Marmara denizi su yolu, 37 deniz mili Çanakkale Boğazı geçiş mesafesidir. İstanbul Boğazı'nda hızı saatte 6- 7 mile

ulaşan akıntı, rüzgar, topuk ve adacıklar gibi zorunlu manevralar gerektiren ve emniyetli seyri engelleyen unsurlar bulunmaktadır. İstanbul Boğazı, Rusya ve diğerk Karadeniz ülkelerinden gelen petrol ve doğal gazın küresel pazarlara taşınması için de elzemdir. Ayrıca askeri gemiler için stratejik öneme sahip olup, Akdeniz'de deniz üssü bulunan ülkelerin Karadeniz'e geçişine olanak sağlamaktadır (KEGM,2023)

Avrupa'yı Asya'dan ayıran ve Karadeniz'i Akdeniz'e bağlaması nedeniyle deniz taşımacılığında stratejik bir öneme sahip bir dar su yolu olan İstanbul Boğazı, dünyanın en yoğun ve seyri zor su yollarından biri olarak kabul edilmektedir. İstanbul Boğazı'nda deniz trafik rejimini belirleyen ve günümüzde de yürürlükte olan Montrö sözleşmesinin imzalandığı yıllarda uğraksız geçiş sayısı yaklaşık 4500 civarındayken, şu an yılda yaklaşık 55.000'den fazla gemi geçtiğı bilinmektedir ve bunların kabaca %20'si tehlikeli yük taşımaktadır (Atasoy, 2008:1; Ulusçu ve diğerkleri, 2009:1454). Boğazdaki hızı saatte 6-7 mile ulaşan akıntı, rüzgâr topuk ve adacıklar fiziksel olarak da buradaki seyir şartlarını zorlaştırmaktadır. Coğrafi, jeopolitik ve oşinografik yapısı nedeniyle de İstanbul Boğazı'nda seyir için büyük zorluklar bulunmaktadır. Zorluklardan biri, boğazdan cross geçiş yapan yerel deniz trafiğidir; yerel trafiğin çoğunlukla seyir emniyetini etkilediğı İstanbul Boğazı'nın güney girişinde, günde 2.100'den fazla tarifeli ve tarifesiz geçiş (yani yılda 700.000'den fazla geçiş) gerçekleşmektedir (Aydogdu ve diğerkleri, 2012:99). Son beş yılda İstanbul Boğazı'ndan geçen gemi adedi Tablo 3'te görüldüğü gibidir.

Tablo 3: Son Beş Yılda İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemi Adedi

YILLAR	Gemi Adedi
2018	41,103
2019	41,112
2020	38,404
2021	38,551
2022	35,146
Toplam / Total	194,316

Kaynak: UAB,2023

İstanbul Boğazına göre daha az girintili çıkıntılıyken uzunluğu İstanbul Boğazının yaklaşık iki katı olan Çanakkale Boğazı bilindiğı gibi Marmara Denizini Ege Denizine bağlar. Çanakkale boğazında seyri zorlaştıran unsurlar şu şekilde

sıralanabilir; Nara ve Kilitbahir burunlarında 80 dereceye varan ve gemilerin 12- 13 kere rota değiştirmelerine sebebiyet veren keskin dönüşler ile 1200 metreye kadar daralan yerler, koylar, sığıklar, bazen 7 mile kadar çıkan güney yönlü üst ana akıntı, Karadeniz'in tüm suyunu en az 7 yılda bir kere değiştiren ve üst ana akıntıya ters yönde (kuzeye) akan alt akıntı, koylarda oluşan ve üst ana akıntıya ters yönde olan anafor akıntılar, güneyden esen rüzgarlar ile oluşan ve üst ana akıntının ters yöne (kuzeye) dönüş yaptığı ve sadece bu bölgeye mahsus Orkoz akıntılar, girdaplar, özellikle bahar ve kış aylarında oluşan ani ve kesif sisler, kar tipileri (Tatlısuoğulları, 2008:14). Çanakkale Boğazı'ndan son beş yılda geçen gemi adedi Tablo 4'te görüldüğü gibidir.

Tablo 4: Son Beş Yılda Çanakkale Boğazı'ndan Geçen Gemi Adedi

YILLAR	Gemi Adedi
2018	43,999
2019	43,759
2020	42,036
2021	43,342
2022	42,340
Toplam / Total	215,476

Kaynak: UAB,2023

2022 yılında İstanbul Boğazından 35146 gemi geçmişken Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemi adedi ise toplamda 42340'tır. Boğazlardan geçen gemi tonajlarına baktığımızda ise İstanbul Boğazından geçen gemilerin toplam gros tonu 541444690 iken; Çanakkale Boğazında geçen gemilerin toplam gros tonu 871621677'dir (UAB,2023). 2022 de Çanakkale ve İstanbul Boğazından geçen gemilere dair ayrıntılı bilgi Tablo 2 ve Tablo 3'te görülmektedir. Türk Boğazlarındaki deniz trafiği, Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 72)'ne göre düzenlenmiş ve Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından kabul edilmiş olan trafik ayırım düzeni çerçevesinde ters yönlü gemi trafiğini birbirinden ayırmak için tesis edilen trafik şeritleri dahilinde işlemektedir (Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü, 2018).

Yukarıda verilen dünyadaki ve ülkemizdeki yoğun su yolu örneklerinden anlaşılabileceği gibi bu alanların gemilerin emniyetli seyri konusunda açık denize göre daha fazla risk oluşturabilecek özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

1.3. YOĞUN SUYOLLARIYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yoğun su yollarıyla ilgili yapılan bazı çalışmaların AIS verileri aracılığıyla gerçekleştirildiği görülmektedir. Bazı yoğun su yollarında AIS' in aşırı yüklenmiş/çatışmalı iletiminin, planlama aşamasında potansiyel bir sorun olduğunu ileri süren Hasegawa ve diğerleri (2009), her geminin hareketini göz önünde bulundurarak gerçek veya simüle edilmiş deniz trafiği akışı için AIS iletişimini gerçekleştiren bir simülatör geliştirmiş ve simülatörü kullanarak AIS' in iletişim kapasitesinin değerlendirilmesini yapmış, yoğun su yollarından biri olan Tokyo Körfezi için simülatör uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. İstanbul Boğazı'nın dünyanın en yoğun ve riskli su yollarından biri olduğunu iddia eden Altan ve Otay (2017), boğazın farklı sektörlerindeki gemilerin seyir modellerini ve özelliklerini anlamaya yardımcı olmak üzere AIS verilerine dayalı trafik yoğunluğu haritaları oluşturmuşlar ve boğaz boyunca coğrafi varyasyonları göstermişlerdir. Geminin çatışma riskini ele almak için kullanılan göreceli hareketle ilgili En Yakın Yaklaşma Noktası (CPA) değeri ile değerlendirme yönteminin yoğun su yollarında emniyetli geçiş için yetersiz olduğunu öne süren Imazu (2017), çatışma riskinin değerlendirilmesi için AIS verilerini de kullanarak gerçek hareketle ilişkilendirilen Öngörülen Çatışma Hattı (LOPC) ve Hedefe Göre Engel Bölgesini (OZT) tanıtmış ve bu yöntemle tehlikeli bölgelerin görünür hale geldiğini savunmuştur (Imazu,2017:65-70). M. J. Kang ve diğerleri (2022) ise su yollarındaki yoğunluğun net ve özel bir tanımının yapılmamış oluşundan yola çıkarak, otomatik tanımlama sistemi (AIS) verilerini kullanarak yaygın olarak kullanılan üç karayolu yoğunluğu endeksinin tanımını deniz ulaşım sistemleri (MTS), trafik hız endeksi (TSI), trafik oranı endeksi (TRI) ve bekleme süresi endeksi (DTI) olarak genişletip denizciliğe uyarlamıştır. Ardından yol geometrisi, günün saati, gemilerin tipi ve boyutu dahil olmak üzere çeşitli faktörleri dikkate alarak AIS verilerine dayalı endeksleri ölçmek için bir metodoloji geliştirmiş ve yöntemi, gerçek durumlarda uygulanabilirliğini değerlendirmek için Houston Gemi Kanalı'nın (HSC) AIS verilerine uygulamışlardır.

Yoğun su yollarına giriş zamanı ve paternlerini belirlemeye yönelik yapılmış birkaç çalışma da bulunmaktadır. Dai ve Schonfeld, (1998) yoğun su yollarındaki gemi gecikmelerini tahmin etmek için sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Özlem ve

diğerleri (2021); yoğun, dar suyollarında gerçek gemi varış paternlerini ve gemi giriş kararlarını taklit edebilen bir simülasyon modelini İstanbul Boğazı örneği üzerinden geliştirmişlerdir (Özlem ve diğerleri,2021:656-672).

Yoğun suyollarıyla ilgili yapılmış çeşitli kaza ve risk analizi çalışmaları da bulunmaktadır. Tsymbal (2007) çalışmasında yoğun suyollarında seyir halinde, birden fazla gemi ile çatışma riskinin bulunduğu durumlarda, hareket halindeki geminin çatışmadan kaçınma stratejisi oluşturmaya olanak sağlayan esnek strateji yöntemini kullanmıştır. Singapur Boğazı'nın dünyanın en yoğun dar suyollarından biri olduğunu belirten Yıldız, Tonoğlu, ve diğerleri (2022), burada gerçekleşen kazalar ve operasyon şartları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) kullanarak, Kernel Density Analizi yöntemi ile deniz kazalarının yoğunlaştığı alanları belirlemiş ve Singapur Boğazı için “Deniz Kazaları Yoğunluk Haritası” oluşturmuşlardır. Artan deniz trafiği hacmiyle birlikte özellikle dar ve yoğun suyollarında çatışma gibi ciddi sonuçları olabilen gemi-gemi karşılaşmalarında artış görüldüğünü öne süre Oruc ve Altan (2023b) , çalışmalarında gemi-gemi etkileşimlerindeki örüntüleri keşfetmeye yönelik yeni bir metodoloji sunmuş ve İstanbul Boğazı'na uygulamışlardır. Wang ve Yang (2018) deniz taşımacılığında kaza şiddetinin analizini mümkün kılmak için Bayes ağlarına dayalı yeni bir risk analizi yaklaşımı geliştirmişler ve risk verilerini Çin sularında meydana gelen kazalardan elde etmişlerdir. Çalışmalarında BN modelinin öncelikli olasılık dağılımı sonucunda; seyir ortamı açısından yaptıkları sınıflandırmada kazaların %74,74'ünün yoğunluk olan suyollarında meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Wang ve Yang,2018:277-289). Topografik olarak kısıtlı sularda veya gemilerle dolu yoğun suyollarında seyir emniyetini sağlamaya yönelik politikaları değerlendirirken, denizcinin gemi elleçleme sürecini yürütürken karşılaşabileceği zorluk düzeyini belirlemenin önemli olduğunu öne süren Inoue (2000) sınırlı bir manevra alanı veya yoğun suyolları veya her ikisinin bir kombinasyonundan kaynaklanan gemi elleçleme güçlüğünü değerlendirmek için bir denizcinin emniyet algısına dayalı kabul kriterlerini içeren nicel bir model geliştirmiştir. Bu çevresel stres modeli Pedersen ve diğerleri (2003b)tarafından kullanılarak, birden çok hedefe yönelik çatışma riski ve uygulanabilir kaçınma manevralarının belirlenmesi, bu manevraların ARPA (Otomatik Radar Pilotlama Desteği) (gerçek ve bağıl hareket) gösterimlerine karşı performansını değerlendirmek

için farklı trafik yoğunlukları ve farklı hız aralıklarına sahip senaryolardan oluşan simülasyon test programları gerçekleştirilmiştir (Pedersen ve diğerleri,2003b:411-427).

Yoğun su yollarıyla ilgili otonom araçlar ve makine öğrenmesine yönelik yapılmış çalışma örnekleri olduğu da görülmektedir. Yoğun su yolları, yoğun limanlar ve yoğun kanallar gibi öngörülemeyen bir ortamda çalışan gemiler için üst düzey bir otonom çatışma önleme sistemi geliştirmenin zor olduğunu ve özellikle yoğun deniz alanlarında, her geminin yoğun ve karmaşık bir su yolunda diğer gemilerle çatışmayı önlemek için sürekli kararlar almak zorunda olduğunu belirten Zhao ve Roh (2019), Derin Pekiştirmeli Öğrenmeye (DRL) dayalı çoklu gemi çatışma önleme problemlerinin üstesinden gelmek için bir yöntem ortaya koymuşlardır. Açık denizle karşılaştırıldığında yoğun iç sularının; dar su yollarına, birçok nehir geçiş köprüsüne, yüksek seyrissefer yoğunluğuna ve bazı bölümlerde yüksek akıntı hızına sahip olduğunu iddia eden Yuan ve Gao (2022) ise yoğun iç su yollarında otonom yüzey araçları (ASV) için öngörülü kontrole dayalı geliştirilmiş bir çatışmadan kaçınma algoritması oluşturmuşlardır (Yuan ve Gao,2022:14).

Yoğun su yollarına yönelik yapılmış çevre kirliliği çalışmaları da bulunmaktadır. Singapur Boğazı ve Batam Su Yolları bölgesinin uluslararası ticaret için kullanılan dünyanın en yoğun su yollarından olduğunu belirten Saputra ve diğerleri (2015), çalışmalarında egzoz gazı emisyonunu ve boğaz çevresindeki çeşitli alanlara emisyon konsantrasyonunu tahmin etmek için bu su yollarından geçen gemilerin Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) verilerini kullanmışlardır (Saputra ve diğerleri, 2015:47).

Yoğun su yolları; gemi seyri emniyetli şekilde gerçekleştirilmezse, bir geminin başka bir gemiyle çatışmasının muhtemel olduğu yüksek yoğunluklu deniz trafiğinin olduğu alanlardır. Kısıtlı ve yoğun su yollarında gemi geçişinin emniyeti, denizcinin muhakeme ve hatalardan kaçınma yeteneğine bağlıdır (Pedersen ve diğerleri, 2003a:411). Çatışma kazaları yoğun su yollarında en sık rastlanan kaza türlerinden biridir (Altan ve Otay, 2018:263, Oruc ve Altan, 2023:1). Ozturk ve Cicek'e (2019) göre son yıllarda, özel gemilerin ve giderek daha büyük gemilerin ortaya çıkmasıyla, yoğun su yollarında gemi manevraları daha karmaşık hale gelmiştir ve bu nedenle yoğun sularda çatışmadan kaçınma, emniyetini sağlamada en önemli konulardan biri haline gelmiştir (Ozturk ve Cicek, 2019:130). Bu nedenlerden yola çıkarak yoğun

suyollarındaki emniyeti geliştirmeye katkı sunabilmek amacıyla bu çalışmada yoğun
suyollarındaki çatışma kazalarının risk analizi gerçekleştirilecektir.



İKİNCİ BÖLÜM

RİSK ANALİZİ

Risk analizi, bir organizasyonu, projeyi veya kararı etkileyebilecek potansiyel riskleri ve belirsizlikleri belirleme ve değerlendirmeye yönelik sistematik bir süreçtir. Olumsuz sonuçlara yol açabilecek potansiyel tehditlerin veya olayların tanımlanmasını, bunların olasılık ve etkilerinin değerlendirilmesini içerir. Risk analizinin temel amacı, belirli bir durumda yer alan risklerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak, bilgiye dayalı karar vermeyi ve uygun risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini sağlamaktır. Süreç tipik olarak aşağıdaki adımları içermektedir (Vinnem, 2014:78-95):

- **Risk Tanımlama:** Bu adım, bir proje sırasında veya bir organizasyon içinde ortaya çıkabilecek potansiyel risklerin tanımlanmasını ve belgelenmesini içerir. Riskler, teknik, finansal, operasyonel, yasal veya çevresel riskler gibi çeşitli türlerde kategorize edilebilir.

- **Risk Değerlendirmesi:** Riskler belirlendikten sonra, bir sonraki adım bunların gerçekleşme olasılıklarını ve potansiyel etkilerini değerlendirmektir. Bu değerlendirme, risklerin önemine göre önceliklendirilmesine ve hangi risklerin daha fazla analiz gerektirdiğinin belirlenmesine yardımcı olur.

- **Risk Analiz Teknikleri:** Riskleri analiz etmek için çeşitli nicel ve nitel teknikler kullanılmaktadır. Niteliksel analiz, risk matrisleri, risk kayıtları veya uzman görüşü gibi yöntemler kullanılarak risklerin ciddiyet, olasılık ve kontrol edilebilirlik gibi özelliklerine göre değerlendirilmesini içerir. Nicel analiz, risklere sayısal değerler atamayı, olasılıklarını tahmin etmeyi ve potansiyel finansal veya nicel etkilerini değerlendirmeyi içerir.

- **Risk Ölçümü:** Riskler, olasılıkları ve potansiyel etkileri analiz edildikten sonra, risklerin genel bir değerlendirmesi yapılır. Bu adım, risklerin önemini ve kuruluşun risk tolerans seviyeleri dahilinde kabul edilebilirliklerini belirlemeye yardımcı olur.

- **Risk Tepkisi:** Riskler değerlendirildikten sonra, uygun risk yanıt stratejileri geliştirilir. Bu stratejiler, risk azaltma (bir riskin olasılığını veya etkisini azaltmak için önlemlerin uygulanması), riskten kaçınma (riski tamamen ortadan kaldırmak), risk

transferi (sigorta veya sözleşmeler yoluyla riski üçüncü bir tarafa kaydırma) veya risk kabulü (risk ve acil durum planlarının hazırlanması) içerebilir.

• **Risk İzleme ve Gözden Geçirme:** Risk analizi devam eden bir süreçtir ve riskler sürekli olarak izlenmeli ve gözden geçirilmelidir. Risklerin düzenli olarak değerlendirilmesi, yeni risklerin tanımlanmasını, mevcut risklerin güncellenmesini ve risk yönetimi stratejilerinin etkin kalmasını sağlamaya yardımcı olur (Vinnem, 2014:78-95).

Risk analizi yapılarak bilgiye dayalı kararlar alınabilir, kaynaklar etkili bir şekilde kullanılabilir ve potansiyel tehditler proaktif bir şekilde yönetilerek olumsuz sonuç olasılığı azaltılabilir. Bir risk değerlendirmesinin yapılandırılmış performansı, analistlere olası tehlikeleri/tehditleri belirleme, bunların nedenlerini ve sonuçlarını analiz etme ve riski tipik olarak niceliksel ve belirsizliklerin uygun bir temsiliyle tanımlama konusunda rehberlik eder. Değerlendirmede, analistler varsayımlarda bulunur ve basitleştirmeler yapar, verileri toplar ve analiz eder, incelenen fenomeni temsil etmek için modeller geliştirir ve kullanır. Örneğin bir yangın nedeniyle yapı üzerindeki ısı akışları, operatörlerin bir kazaya tepkisi; mevcut bilgilere dayalı olarak gerçek bir kazanın nasıl ilerleyeceğini taklit etmeye çalışan kavramsal modellerin sonuçlarıdır. Bir sistemin risk değerlendirmesi, bileşenlerinin birden fazla arızasını içeren çok sayıda muhtemel senaryonun dikkate alınmasını gerektirir ve bunu yaparak, sistem arıza modları hakkında derinlemesine bir anlayış ve bilgi sağlar, sonuç olarak risk ve emniyet konusundaki farkındalık artmış olur. Bu da tipik olarak sistemin emniyetinin genel olarak iyileştirilmesine yol açar (Zio, 2018:175-179).

Denizcilikte seyir emniyetinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik pek çok risk analizi çalışması yapılmaktadır. IMO' ya göre denizcilikteki risk analizi çalışmalarında kullanılan bazı teknik kavramların tanımları Tablo 5'te verilmiştir (International Maritime Organization, 2002):

Tablo 5:Denizcilikte Risk Analiz Çalışmalarında Kullanılan Teknik Kavramların Tanımları

Risk	Sonucun sıklığı ve şiddetinin kombinasyonu
Kaza	Ölüm, yaralanma, gemi kaybı veya hasarı, başka mülk kaybı veya hasarı veya çevresel zararı içeren istenmeyen bir olay.
Kaza kategorisi	İstatistiksel tablolarda niteliklerine göre rapor edilen kazaların bir tanımı, örn. yangın, çatışma, karaya oturma vb.
Kaza senaryosu	Başlatıcı olaydan son aşamalardan birine kadar olan olaylar dizisi.
Sonuç	Bir kazanın sonucu.
Sıklık	Birim zamanda meydana gelme sayısı (örneğin, yılda)
Başlatıcı Olay	Tehlikeli bir duruma veya kazaya yol açan olaylar dizisinin ilki
Tehlike	İnsan hayatını, sağlığını, mülkünü veya çevreyi tehdit etme potansiyeli.
Olasılık (Nesnel/sıklık)	Oluşma sayısının olası oluşumların toplam sayısına oranıyla ifade edildiği şekliyle, bir olayın meydana geleceği göreli sıklık.
Olasılık (Öznel/Bayes)	0'dan 1'e kadar bir ölçekte ölçülen, bir olayın meydana gelmesine olan güven derecesi. Olasılığı 0 olan bir olay, imkansız olduğuna inanıldığı anlamına gelir; olasılığı 1 olan bir olay, kesinlikle gerçekleşeceğine inanıldığı anlamına gelir.
Risk katkı ağacı (RCT)	Risk modelini oluşturan tüm hata ağaçlarının ve olay ağaçlarının birleşimi.
Risk kontrol önlemi (RCM)	Tek bir risk unsurunu kontrol etmenin bir yolu.
Risk kontrol seçeneği	Risk kontrol önlemlerinin bir kombinasyonu.
Risk değerlendirme kriterleri	Riskin kabul edilebilirliğini/tolere edilebilirliğini değerlendirmek için kullanılan kriterler.

Kaynak: IMO, 2002

Literatürde risk temelli yaklaşımlarda niceliksel veya niteliksel risk değerlendirme tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir. Niceliksel risk değerlendirme yöntemi ölçülebilir risk göstergeleri verir (Uflaz ve diğerleri, 2023:2). Bununla birlikte, niceliksel yaklaşımın sonuçlarının kalitesi, denizcilik alanında sınırlı olan verilerin ve kaza geçmişinin mevcudiyetine bağlıdır (Psarros ve diğerleri, 2010:619-621). Denizcilik alanında çeşitli yöntemlerle risk bazlı analize ilişkin önemli miktarda çalışma yayınlanmıştır. Son zamanlarda Hata Ağacı Analizi (FTA) (Sørensen ve diğerleri, 2022; Tunçel ve diğerleri, 2023; Ugurlu ve Cicek, 2022b), Tehlike ve İşlerlik çalışması (HAZOP) (Vidmar ve Perkovič, 2018; Zhan ve diğerleri, 2009) , Papyon (Bow-tie) (Arici ve diğerleri, 2020b; Bayazit ve diğerleri, 2023; Kaptan, 2021) , Olay Ağacı Analizi (ETA) (Fu ve diğerleri, 2016; Qiao ve diğerleri, 2022), Arıza Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) (Ceylan ve diğerleri, 2023; Wang ve diğerleri, 2023) gibi risk analizi tekniklerinin denizcilik alanında kullanıldığı görülmektedir. Hata ağacı analizi yöntemi, sistemdeki tepe olay ile tepe olaya neden olan tüm temel olaylar arasındaki iç bağlantıların daha derinlemesine incelenmesine olanak sağladığı gibi kazaya neden

olan koşullar ışığında sistemin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlama avantajına da sahiptir (Töz ve diğerleri, 2022:18-19).

Denizcilik alanında insan güvenilirliğinin değerlendirilmesi, denizcilik endüstrisi için oluşturulmuş etkili insan hatası olasılığı toplama programlarının bulunmaması nedeniyle zahmetli bir görevdir. Bununla birlikte denizcilik sektörü için insan hatasını ele alan bir takım risk çalışmaları yapılmıştır. Bulanık Başarı Olasılık İndeksi Yöntemi (SLIM), İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (HEART), İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) gibi teknikler yapılan çalışmalarda kullanılmıştır. Bu tür çalışmalar, özellikle veri eksikliğinin olduğu durumlarda deniz operasyonları için insan hatası olasılıklarını makul düzeyde sağlama gücüne sahiptir. Ancak girdilerin göreceli öneminin dikkate alınamaması nedeniyle, her parametrenin ağırlıkları farklı olduğunda bu tür araştırmalardan elde edilen sonuçlar sorgulanabilir. Aynı zamanda bu tür çalışmaların insan hatası değerlendirmeleri ya nükleer santrallerden alınan veri tabanına dayalı olarak yapılmakta ya da insan performansını etkileyen bireysel, teknolojik, bağlamsal ve organizasyonel faktörler dikkate alınmadan yapılmaktadır (Ung, 2018:17-18). Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Metodu (CREAM) insan performansını etkileyen bağlamsal ve organizasyonel faktörleri değerlendirmeye, girdilerin göreceli önemi dikkate alınarak girdilerin ağırlıklandırılmasına olanak sunmaktadır.

Yukarıda sayılan sebeplerden yola çıkarak bu çalışmada yöntem olarak Hata Ağacı Analizi (FTA) ve Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Metodu (CREAM) seçilmiştir.

2.1. HATA AĞACI ANALİZİ (FTA-FAULT TREE ANALYSIS)

1962 senesinde Bell Telephone Laboratories de çalışmakta olan Mr H. Watson ve Mr A.Mearns tarafından Amerikan Hava Kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilen Hata ağacı analizi (FTA), uygulanabilir ve faydalı bir analiz aracıdır; hem basit hem de karmaşık mühendislik sistemleri için tehlikeleri tanımlamak, sınıflandırmak ve sistem güvenilirliğini hesaplamak için kullanılan analitik bir tekniktir (Erdoğan, 2015:107-109; Shalev ve Tiran, 2007:1231).

Hata ağacı, bir olayın farklı şekillerde nasıl meydana gelebileceğini gösteren ve olası olay dizisini sistematik olarak tanımlayan bir grafik ifadedir. Hata ağacı analizi, dikkate alınan başarısızlık senaryosuyla başlanan ve başarısızlık belirtisinin olası nedenlerine ayrıştırıldığı tümdengelimli sistematik bir tekniktir. Her bir olası neden daha sonra araştırılır ve başarısızlığın temel nedenleri anlaşılana kadar daha da ayrıntılandırılır. İlgili bir birincil sistemden yalnızca niteliksel olarak tanınan belirli bir risk, akıl yürütme ağacında en üst olay olarak yerleştirilerek tümdengelim yöntemiyle risklerin nedeni analiz edilir (Hyun ve diğerleri, 2015; Xing ve Amari, 2008). Hata ağacı analizi (FTA), enerji santralleri, uçaklar, veri merkezleri ve web mağazaları gibi emniyet açısından ve ekonomik açıdan kritik varlıklarla ilgili riskleri analiz etmek için kullanımı çok yaygın olan etkili bir yöntemdir. Sistemde meydana gelebilecek ilgili arızaları ve bu arızaların muhtemelen sistemin bir bütün olarak arızalanmasına neden olacak şekilde nasıl etkileşime girebileceğini açıklar (Ruijters ve Stoelinga, 2015a:29).

FTA, teknik sistemlerin bir tehlikeye izin verip vermediğini analiz etmesi için geliştirilmiştir. En üstteki olay, hata ağacının kökünde belirlenir. Tehlikeye neden olan olaylar alt düğümlerde verilir ve yinelemeli olarak analiz edilerek bir olaylar ağacı oluşturulur (Ortmeier ve Schellhorn, 2007:140).

Hata Ağacı Analizi, fiziksel sistemi mantıksal bir şemaya çevirir. Ekipman arızası, insan hatası ve dış faktörlerin bir kazaya veya olaya nasıl katkıda bulunduğuna dair görsel bir model sunar. Bir kazanın yolunu farklı adımlarla sunmak için mantıksal kapıları ve küçük olayları kullanır ve dolayısıyla belirli bir olay için bir hata ağacı oluşturulur (Baig ve diğerleri, 2013:169-171).

2.1.1. Hata Ağacı Diyagramlarının Elementleri ve Kullanılan Semboller

Bir Hata Ağacı temel olarak, bireysel bileşen durumlarını tüm sistem durumuna bağlayan mantıksal denklemin grafik gösterimidir. Bir Hata Ağacının temel öğeleri (i) tepe olay (top event), (ii) birincil olaylar (primary events), (iii) ara olaylar (intermediate events) ve (iv) mantık kapıları (logic gates) olarak sınıflandırılabilir (Antão ve Soares, 2006:107-108). Analiz edilen sistem arızasına "tepe olay" denir ve bunun "temel olaylara" ayrışması, mantıksal AND ve OR kapıları kullanılarak belirtilir. Diğer kapı türleri de kullanılabilir, örneğin özel VEYA kapıları veya NOR kapıları. En üstteki

olayın olasılığı, her biri eş zamanlı oluşumu en üst olaya neden olan temel olayları içeren minimum kesim kümelerinden hesaplanır (Marsh ve diğerleri, 2007:122). Hata ağacı analizinde kullanılan temel semboller; olay, kapı ve transfer sembolleri olarak gruplandırılmıştır (Patil ve diğerleri, 2009:15-16).

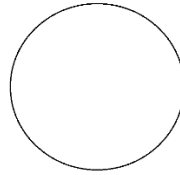
Olay sembolleri; hata ağaçlarındaki olaylar yani hatalardır. Bir hata ağacı, ağaçta hata mantığının geçişine izin vermeye veya engellemeye hizmet eden "kapılar" olarak bilinen yapılardan oluşur. Kapılar, "daha yüksek" bir olayın meydana gelmesi için gerekli olan olayların ilişkilerini gösterir. "Daha yüksek" olay, kapının "çıktısı"; "düşük" olaylar, kapının "girişleridir" (Vesely ve Goldberg, 1981:34). Transfer sembolleri ise bir alt sistemin hata ağaçları da dahil olmak üzere ilgili hata ağaçlarını sisteme bağlamak için uygun bir yol sağlamak için kullanılır (Sökükçü, 2021a:48)

2.1.1.1. Olay Sembolleri (Event Symbols)

Basit, gelişmemiş ve harici olaylar birincil olaylardır. Hata ağacı diyagramlarında kullanılan olay sembolleri aşağıdaki gibidir (Brooke ve Paige, 2003:256-259; Lambert, 1975:31-33):

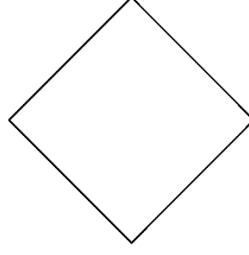
Basit olay, çözümlemedeki temel başlatıcı olayı/hatayı belirtir; daha fazla geliştirme gerektirmez. Şekil 5'te görüldüğü gibi daire ile temsil edilir.

Şekil 5:Basit Olay Sembolü



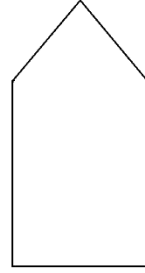
Gelişmemiş olay, yeterli bilgi bulunmadığı ya da olayın bir önemi olmadığı için geliştirilememiş olaydır. Şekil 6' da görüldüğü gibi elmas şeklinde döndürülmüş eşkenar dörtgen ile temsil edilir.

Şekil 6: Gelişmemiş Olay Sembolü



Harici olay, sistemin normal çalışması sırasında gerçekleşmesi beklenen bir olaydır. Şekil 7’de görüldüğü gibi ev şekline benzeyen sembol ile temsil edilir.

Şekil 7: Harici Olay Sembolü



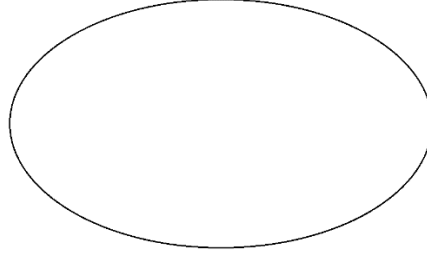
Ara veya tepe olay, mantık kapıları aracılığıyla hareket eden bir veya daha fazla öncül nedenden dolayı meydana gelen bir arıza olayıdır. Diğer olaylar ara olaya genellikle kapılar aracılığıyla eklenir. Şekil 8’de görüldüğü gibi dikdörtgen ile temsil edilir.

Şekil 8: Ara Veya Tepe Olay Sembolü



Şartlandırılmış olay, herhangi bir mantık kapısı için geçerli olan tüm koşulları veya kısıtlamaları belirtmek için kullanılır. Şekil 9’da görüldüğü gibi oval elips ile sembolize edilir.

Şekil 9: Şartlandırılmış Olay Sembolü

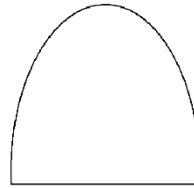


2.1.1.2. Kapı Sembolleri (Gate Symbols)

Hata ağacı diyagramlarında kullanılan kapı sembolleri aşağıdaki gibidir (Brooke ve Paige, 2003:257; Vesely ve Goldberg, 1981:36):

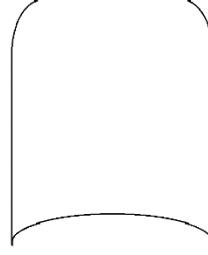
Ve kapısı, sonuç olayının oluşması için tüm giriş koşullarının gerçekleştirilmesini gerektiren mantıksal işlemi tanımlar. Şekil 10’daki gibi gösterilmektedir.

Şekil 10: Ve Kapısı



Veya kapısı, iki (ya da daha fazla) giriş koşullarından en az biri meydana gelirse sonuç olayının gerçekleştiğini belirtir. Şekil 11’deki gibi gösterilmektedir.

Şekil 11: Veya Kapısı

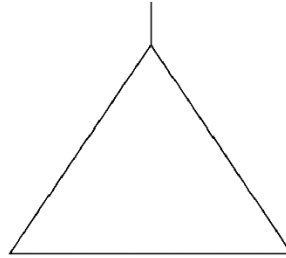


2.1.1.3. Transfer Sembolleri (Transfer Symbols)

İki transfer sembolü, *Transfer in* ve *Transfer out*, büyük bir ağacın birden çok sayfaya bölünmesine olanak tanır; aynı zamanda analizin daha yönetilebilir parçalara bölünmesine ve tekrarların azaltılmasına yardımcı olur (Brooke ve Paige, 2003:257; Vesely ve Goldberg, 1981:35).

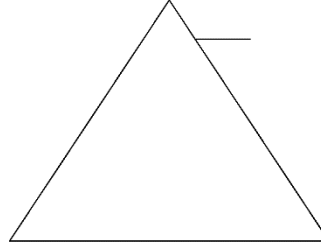
Transfer in hata ağacı analizinin bir kısmının başka bir yere transferini ifade eder. Şekil 12’de görüldüğü gibi temsil edilmektedir (Brooke ve Paige, 2003:257; Gachlou ve diğerleri, 2019:4).

Şekil 12: Transfer in Sembolü



Transfer out, ağacın bir bölümünün aynı sembole bağlı olması gerektiğini belirtir. Şekil 13’te görüldüğü gibi temsil edilmektedir (Brooke ve Paige, 2003:257; Gachlou ve diğerleri., 2019:4).

Şekil 13: Transfer out Sembolü



2.1.2. Hata Ağacı Analizlerinin Niteliksel ve Niceliksel Değerlendirmeleri

Hata ağacı analizi, karmaşık bir sistemin emniyetini ve güvenilirliğini hem niteliksel hem niceliksel olarak tahmin etmeye yönelik sistematik bir yaklaşımdır (Wang ve diğerleri, 2013:1390). Bir hata ağacı analizi; sistem tanımlanması, hata ağacının oluşturulması, nitel değerlendirme ve nicel değerlendirme olmak üzere dört adımla gerçekleştirilir(Lee ve Lie, 1985:194).

Niteliksel analiz, tepe olayın meydana gelmesine neden olacak çeşitli olay kombinasyonlarının tanımlanmasından oluşur. Bunu, en önemli olayın meydana gelme olasılığını tahmin etmek için nicel bir analiz izleyebilir(Patil ve diğerleri, 2009:16). Basit olayların olasılıkları biliniyorsa, hata ağacının nicel analizi mümkündür. Sistem arızasının meydana gelme olasılığının değerlendirilmesinin yanı sıra (istenmeyen tepe olay), nicel analiz, önem ölçüleri aracılığıyla en basit olayların tanımlanmasını sağlar (Makajic-Nikolic et al., 2016:369).

Analiz teknikleriyle ilgili olarak, hata ağacının yapısını dikkate alan nitel hata ağacı analizi ile hata ağaçları için başarısızlık olasılıkları gibi değerleri hesaplayan nicel hata ağacı analizi arasında ayırım yapılabilir. Niteliksel alanda, kesim setleri; hangi bileşen arıza kombinasyonlarının sistem arızalarına yol açtığını gösteren önemli bir ölçüttür. Bir kesim seti çok az öge içeriyorsa, bu bir sistem açığına işaret edebilir. Diğer niteliksel ölçümler, yol kümeleri ve ortak neden başarısızlıklarıdır. Nicel sistem ölçümleri çoğunlukla başarısızlık olasılıklarının hesaplanmasıyla ilgilidir. Sistem bileşenlerinin başarısızlığının bir olasılık dağılımı tarafından yönetildiğini varsayarsak, o zaman nicel hata ağacı analizi, sistem için başarısızlık olasılığını hesaplar (Ruijters ve Stoelinga, 2015a:30).

Hata ağacı analizinde kullanılan bir kesim seti, tüm bileşenler arızalandığında sistem arızasına yol açan sistem bileşenleri kümesidir. Bu kesim setlerinin minimum alt kümesi, minimum kesim setleri (MCS'ler) olarak bilinir ve bu, yalnızca minimum kesim setlerinden birinin tüm bileşenleri arızalanırsa sistem arızasına yol açar ve hata ağacı analizinde niceliksel analiz için temel olarak kullanılır (Kaushik ve Kumar, 2022:2421-2424). Hata ağacının kendisi daha sonra sistemin hata davranışı hakkında daha yararlı bilgiler üretmek için analiz edilebilir. Bu ileri analiz iki biçimde gelir: nitel (mantıksal) analiz ve nicel (olasılıksal) analiz. Nicel analiz, hata ağacını, tepe olaylara yol açan en küçük hata kombinasyonları olan minimum kesim kümelerine (MCS'ler) indirgeyerek gerçekleştirilir; bu minimum kesim kümelerinin anlaşılması, bir bütün olarak hata ağacından daha kolaydır. Nitel analiz, arıza ve onarım oranlarına dayalı olarak basit olayların her birine olasılıklar atar ve bunlardan tepe olayın meydana gelme olasılığı da tahmin edilebilir (Walker ve Papadopoulos, 2009:1115).

2.1.3. Minimum Kesim Kümelerinin Hesaplanması ve Tepe Olay Hata Olasılığı

Bir sistemin yapısal zayıflığını belirlemek için minimum kesim kümeleri kullanılabilir. Bu, minimum kesim küme sayısı arttıkça sistemin daha riskli hale geldiği anlamına gelmektedir. Basit olaylar (basic event) sistemde istenmeyen olaylardır ve minimum kesim kümesi (MCS) altındaki tüm basit olaylar gerçekleşirse tepe olay yaşanacaktır. Minimum kesim kümelerinin tespit edilmesi risk açısından da çok önemlidir. Her minimum kesim kümesinin tepe olay olasılığıyla ilişkisi minimum kesim kümesi sıralamasıyla temsil edilir. Minimum kesim kümelerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi, operasyonel tehlikelerin anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir (Arici ve diğerleri, 2020:4-6). MCS'leri sıralamak için Vesely-Fussell Önem Ölçümü (V-FIM) yaklaşımı kullanılabilir. Başka bir deyişle, tepe olay (TE) olasılığının kırılabilirliği, MCS'lerin tepe olay olasılık taahhüdü ve uygunluk düzeyine göre değerlendirilmesi yoluyla tahmin edilmektedir (Ünver ve diğerleri, 2019a:294). Bu çalışmada duyarlılığı araştırmak için V-FIM kullanılmıştır.

Bu tezdeki önemlilik derecesi tahminleri de V-FIM yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Aşağıdaki denklem (1) bu yaklaşım için kullanılır:

$$I_i^{VF}(t) = \frac{Q_i(t)}{Q_s(t)} \quad (1)$$

Burada $I_i^{VF}(t)$, MCSi'nin büyüklüğünü temsil ederken, $Q_i(t)$, MCS I'nın oluşma olasılığını ve $Q_s(t)$, MCS'ye bağlı olarak tepe olayın oluşma olasılığını temsil eder.

Hata ağacı analizinin en önemli unsurları arasında yer aldığı için hata ağacı grafiği çeşitli MCS'leri (minimum kesim kümesi) içerir. MCS, sistemin yapısal emniyet açığını ölçmek için kullanılır. MCS aşağıdaki denklem (2) kullanılarak görselleştirilebilir:

$$T = MCS_1 + MCS_2 + \dots + MCS_N = \bigcup_{i=1}^N MCS \quad (2)$$

Yukarıdakilerin ışığında, TE'nin olay frekansı aşağıdaki denklem (3) kullanılarak hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} P(T) &= P(MCS_1 \cup MCS_2 \cup \dots \cup MCS_N) \\ &= P(MCS_1) + P(MCS_2) + \dots (PMCS_N) - (P(MCS_1 \cap MCS_2) \\ &\quad + (P(MCS_1 \cap MCS_3) \\ &\quad + \dots (P(MCS_1 \cap MCS_j) \dots) \dots + (-1)^{N-1} P(MCS_1 \cap MCS_2 \cap \dots \cap MCS_N) \end{aligned} \quad (3)$$

Tepe olay olan P(T) olasılığını temsil eden denklem (4), sistemdeki tüm MCS'lerin olasılıklarının toplamı ile tanımlanabilir (Shadijah et al., 2019).

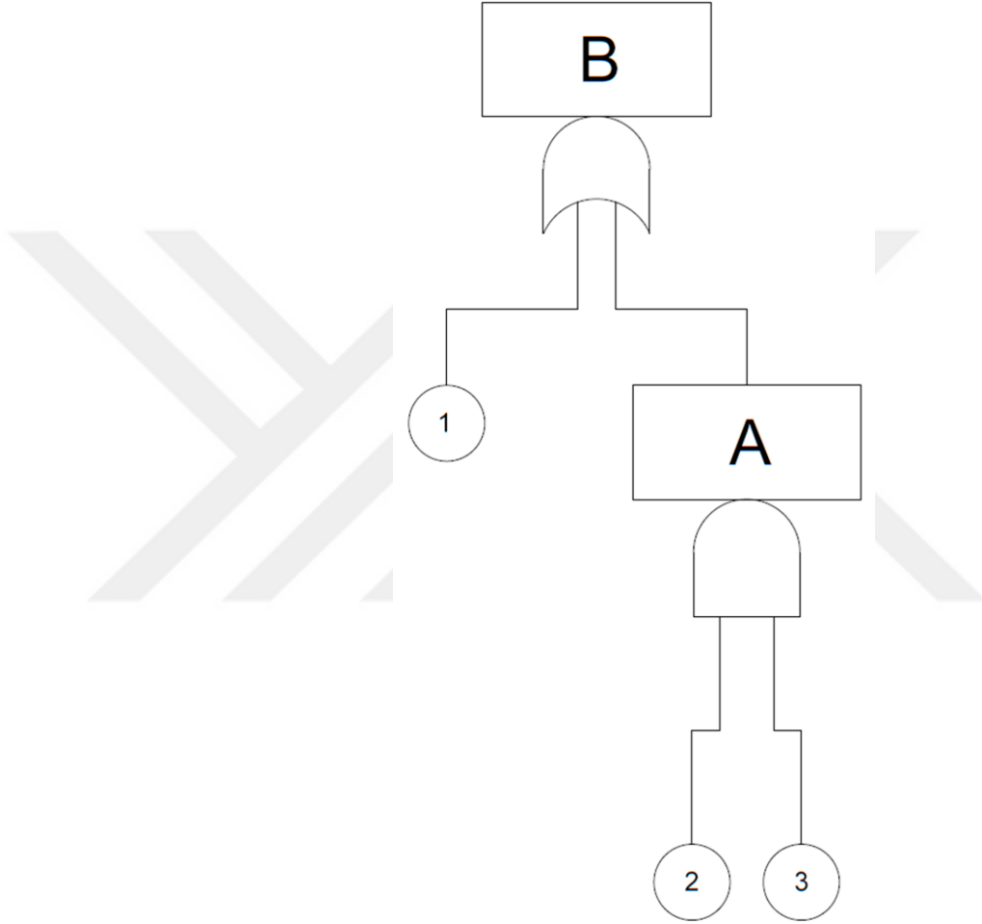
$$P(TE) = \sum_{k=1}^N P(MCS_k) \quad (4)$$

Bir hata ağacının birçok kez meydana gelen temel olayları içerdiği durumda, tepe olay (TE) olasılığını hesaplamak için en yaygın yöntemlerde minimum kesim kümelerini (MCS'ler) kullanılır. Bir MCS bir dizi temel olaydan oluşur. Tüm bu olayların gerçekleşmesi durumunda TE'nin ortaya çıkması kesindir; ancak temel olaylardan herhangi biri ortaya çıkmazsa TE gerçekleşmez. Bir hata ağacındaki MCS'lerin MCS_n olarak temsil edildiğini varsayalım.

Örnek bir basit hata ağacı analizi Şekil 14'te gösterilmektedir. Bu diyagramda B çıkış olayı “tepe olay” olarak gösterilirken 1, 2 ve 3 olayları “basit olay” olarak gösterilmiştir. A olayı ise “ara olay”dır. B tepe olayının gerçekleşebilmesi için 1 veya

A koşullarından birisinin gerçekleşmesi yeterli olduğu için “veya kapısı” kullanılırken, A ara olayının gerçekleşebilmesi için 2 ve 3 basit olaylarının her ikisinin de gerçekleşmesi gerekli olduğu için “ve kapısı” kullanılmıştır(Boryczko ve diğerleri, 2022:6-7).

Şekil 14: Basit Hata Ağacı Gösterimi



Kaynak :Boryczko ve diğerleri, 2022:7

FTA hem niteliksel hem de niceliksel olarak kullanılabilir. Niteliksel analiz, minimum kesim kümeleri (MCS'ler) elde etmek için Boole cebirinin uygulanmasıdır. MCS, tepe olay ile sonuçlanan basit olayların en küçük birleşimidir. Başka bir deyişle, bir MCS basit olaylar açısından en üst olayı temsil eder (Temel, 2022:66). Niteliksel hata ağacı analizini göstermek için, Şekil 14'te gösterilen hata ağacı yapısını göz önünde bulunduralım. Ağacın MCS'lerini elde etmek için kullanılan Boole cebiri kuralları denklem (5)-(8)'de gösterildiği gibidir.

$$B=A \cup 1 \quad (5)$$

$$A=2 \cap 3 \quad (6)$$

$$B= 1 \cup (2 \cap 3) \quad (7)$$

$$MCS_1 = 1, MCS_2= 2 \cap 3 \quad (8)$$

Denklem(8) hata ağacının iki minimum kesim kümesine sahip olduğunu gösterir. 2 ve 3 basit olayının aynı anda ortaya çıkması B tepe olayının oluşmasına sebep olurken 1 basit olayı sadece kendisi gerçekleşmesi de B tepe olayının oluşması için yeterlidir. MCS'leri belirledikten sonra tepe olayın oluşma olasılığını değerlendirmek için niceliksel analiz yapılabilir. Hata ağacını ölçmek için basit olayların oluşma olasılığı tanımlanmalıdır. Daha sonra Boole cebiri kullanılarak MCS'lerin ve tepe olayın olasılıkları elde edilebilir.

2.1.4. Hata Ağacı Analizlerinin Karar Verme Aşamasındaki Rolü

Mevcut tüm güvenilirlik analizi yöntemleri arasında hata ağacı analizi, başarısızlığı proaktif olarak önlemede önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca hata ağacı analizi, karar vericilerin herhangi bir aşamada sistemin risk seviyesini değerlendirmesine ve iyileştirmesine olanak tanır, bu da hata ağacı analizinin reaktif olarak da etkili bir araç olarak kullanılabileceğini gösterir (Yazdi ve diğerleri, 2023:1640).

Hata ağacı analizi, analistin ihtiyaçlarına bağlı olarak en basit veya en karmaşık analitik güvenilirlik aracı olabilir. Sistem güvenilirliği analisti için hata ağaçları, hata modlarını ve olasılıklarını analiz etmek ve genel güvenilirliği değerlendirmek için nesnel bir temel sağlar. Basit mantık hem sistemler hem de alt sistemler için geçerlidir ve yönetim, analiz ve mühendislik alanları için etkili bir görselleştirme aracıdır (W. Lee ve Lie, 1985:200).

Hata ağacı analizinde sistem içindeki karmaşık ilişkiler, yalnızca bileşenlerin işleyişini veya arızasını, sırasıyla olayların meydana gelip gelmediğini dikkate alan ikili mantık kullanılarak tanımlanır. Bu, uygun bir grafik sunumla birlikte, çok büyük teknik sistemlerin bile şeffaf ve kapsamlı bir şekilde ele alınmasına olanak tanır. Hata

ağacı, istenmeyen olayla ilgili teknik bir sürecin mantıksal modelidir. Hata ağacı analizi, tasarımı tek hata kriterini karşılayan ve bu nedenle yalnızca birden çok hatanın sonucu olarak başarısız olabilen sistemlerin araştırılması için özellikle uygundur. Hata ağaçları genellikle minimum kesim setleri, yani istenmeyen olayı meydana getirmek için eşzamanlı olarak meydana gelmeleri gerekli ve yeterli olan temel olayların kombinasyonları, açısından değerlendirilir. İstenmeyen olayın meydana gelme olasılığı veya beklenen sıklığı açısından hata ağacının niceliğinin belirlenmesi için uygun olan yapı fonksiyonunun türetilmesi için temel oluştururlar (Hauptmanns, 2010:971).

Hata ağacı analizinin ana hedefi, tepe olayın meydana gelme olasılığını hesaplamaktır. Bununla birlikte, tepe olay için minimum kesim setlerinin önemini veya tepe olay için belirtilen basit olayların önemini hesaplamak da yararlı olabilir (Barlow ve diğerleri, 1973:2).

Hata ağacı analizi hem mevcut bir sisteme hem de tasarım aşamasındaki bir sisteme uygulanabilir. Tasarım aşamasındaki sistem için hata ağacı analizi, genel verileri kullanarak hata olasılığı ve katkıda bulunanların bir tahminini sağlayabilir ve ayrıca performansa dayalı bir tasarımın destekleyici bir aracı olarak kullanılabilir. Mevcut bir sistemde hata ağacı analizi, zayıflıkları belirleyebilir, olası yükseltmeleri değerlendirebilir, davranışı izleyebilir ve tahmin edebilir (D. Wang , 2013:1390).

Güvenilirlik analizinde, bir hata ağacı olası bir kazanın nedenlerinin belirlenmesine yardımcı olur. Düzgün kullanıldığında, hata ağacı genellikle, aksi takdirde analiz edilen olayın nedenleri olarak kabul edilemeyecek olan hata kombinasyonlarının keşfedilmesine yol açar. Hata ağacı, sonuçların bir görselini sunar. Sistem tasarımı yeterli değilse, zayıf noktaların neler olduğunu ve bunların nasıl istenmeyen olaylara yol açtığını göstermek için hata ağacı kullanılabilir. Tasarım yeterliyse, akla gelebilecek tüm nedenlerin dikkate alındığını göstermek için hata ağacı kullanılabilir. Hata ağacı, sistem arızası olasılığının hesaplanmasında yardımcı olan kullanışlı ve verimli bir format sağlar (Barlow ve diğerleri, 1973:10-13).

2.1.5. Hata Ağacı Analizinin Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması

Hata ağacı analizi, çok çeşitli endüstriler tarafından kullanılan öne çıkan risk analiz tekniklerinden biridir. Hata ağacı analizinin yaygın olarak kullanıldığı alanlar; enerji santralleri, havacılık, nükleer enerji üretimi, robotik sistemler, veri merkezleri, web mağazaları ve insan sağlığıyla alakalı emniyet riskinin olduğu alanlardır. Denizcilik ve açık deniz sistemleri disiplinlerinde, tanker tipi gemilerin ve açık deniz petrol platformlarının emniyetli işletimi konuları ön plana çıkmaktadır (Ferguson ve Lu, 2017:1; Ruijters ve Stoelinga, 2015b:29; Ta ve diğerleri, 2017:57).

Denizcilik faaliyetlerinin insan hayatına, yüke ve deniz çevresine verebileceği zararların ciddiyetinden dolayı risk değerlendirmesi deniz taşımacılığında her zaman önemli bir konu olmuştur (Kuzu ve diğerleri, 2019a:128). Hata ağacı analizi denizcilik alanında kullanılan çeşitli risk analiz yöntemlerinden biridir. Aşağıda denizcilik alanında hata ağacı analizi gerçekleştirilerek yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Tasarım özellikleri ve yolcu sayısı nedeniyle, RoPax gemilerinde meydana gelen kazaların hem ekonomik hem de insan hayatı açısından çok büyük sonuçları olduğunu belirten Antão ve Soares (2006b), bu gemi tipi için risk analizini hata ağacı analizi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Trucco ve diğerleri (2008) açık denizde çatışma tehlikesinde organizasyonel işlevlerin ve düzenlemelerin etkilerine yönelik Hata Ağacı Analizinin (FTA) teknik unsurlarının Bayes İnanç Ağı (BBN) modeliyle entegrasyonu ile orijinal bir yöntem geliştirilerek bir analiz ortaya koymuşlardır (Trucco ve diğerleri, 2008:845-856).

Çelik ve diğerleri (2010) gemi kazası incelemesinin yürütme sürecini geliştirmek için organizasyonel hataların ve gemi teknik sistem arızalarının etkilerini bir risk değerlendirme şeması altında birleştiren bulanık bir genişletilmiş hata ağacı analizi (FFTA) gerçekleştirmişlerdir. Mentis ve Helvacıoğlu (2011), bir şamandıra sistemine bağlayarak kargo operasyonu yapan bir tankere yönelik bulanık hata ağacı analizi gerçekleştirmiştir (Mentis ve Helvacıoğlu, 2011:285). Lavasani ve diğerleri (2011) açık deniz boru hattı sistemlerinin risk analizini gerçekleştirmek için bulanık hata ağacı analizini kullanmıştır (Lavasani ve diğerleri, 2011:29).

Nwaoha ve diğerleri, (2013) sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) gemisi operasyonlarının tehlike risklerini ve bunların temel nedenleri araştırmak için bir risk matrisi yaklaşımı ve bulanık kanıtsal muhakeme (FER) yönteminin birleşimi yoluyla yeni bir çerçeve oluştururken hata ağacı analizi (FTA) diyagramlarını, “çok yüksek riskli” tehlikelerin (tepe olaylar) nedenlerini (basit olaylar) belirlemek için kullanmışlardır (Nwaoha ve diğerleri, 2013:31-44).

Uğurlu ve diğerleri, (2015a), 1998-2010 yılları arasında ham petrol tankerlerinde meydana gelen çatışma ve karaya oturma kazalarını hata ağacı analizi kullanarak incelemişlerdir (Uğurlu ve diğerleri, 2015a:163-185). Önümüzdeki yıllarda Kuzey Kutbu bölgesinde gemi sayısı ve deniz trafiğinin önemli ölçüde artacağını ileri süren Kum ve Sahin (2015b) , çatışma ve karaya oturma kazalarına yönelik bir hata ağacı oluşturmuş, bulanık hata ağacı analizi yöntemini uygulamışlardır. Senol ve diğerleri (2015), kimyasal kargoların tahliye sonrasında gemi üzerinde kalıntı olarak kalmasıyla oluşan kirlenmenin temel nedenlerini analiz etmek ve oluşma olasılıklarını elde etmek için bulanık hata ağacı analizini (FFTA) kullanmışlardır (Senol ve diğerleri, 2015:5232). Gemi yakıtı olarak doğal gaz kullanımının bir gaz sızıntısı meydana gelirse yangın ve patlama tehlikesi oluşturabileceğini öne süren Guan ve diğerleri (2016), Çin karasularında hem dizel hem gaz yakıtı ile çalışabilen bir geminin makine dairelerinde yaşanabilecek yangın ve patlama kazalarını ele alan bir hata ağacı modeli sunmuşlardır.

Senol ve Sahin (2016), karmaşık ve belirsiz sistemlerde istenmeyen olayları önlemek için dinamik ortama uygun gerçek zamanlı sürekli bulanık hata ağacı analiz modelini geliştirmek için bir geminin gerçek zamanlı sensör sistemlerini kullanarak, çatışma ve karaya oturma kazalarını hata ağacı analizini modelin geçerliliğini doğrulamaya yönelik kullanmışlardır.

Jeong ve diğerleri (2017) yüksek basınçlı yakıt gaz besleme sistemlerini içeren yakıt hazırlama odasının güvenilirliğini araştırmak amacıyla patlamaya yol açabilecek olayları belirlemek için yakıt sistemine yönelik bir hata ağacı analizi gerçekleştirmişlerdir. John ve Osue (2017) açık deniz ikmal gemisinin (OSV) platformlarla çatışmasının karmaşık yapısını analiz etmek amacıyla bulanık hata ağacı analizi yöntemini uygulamıştır (John ve Osue, 2017:870-886).

Arslan ve diğerkleri (2018), tanker terminallerinde yükleme ve boşaltma operasyonları sırasında gemilerde gerçekleşen kazaları insan faktörü ve emniyet bakımından incelerken kaza nedenlerinin belirlemek için hata ağacı analizini kullanmışlardır. Kuzu ve diğerkleri (2018) tanker terminal operasyonları için kopan halat yaralanması riski ve buna sebep olan kök nedenleri belirlemek için Hata Ağacı Analizi ve Bulanık Mantık yöntemini kullanmışlardır (Kuzu ve diğerkleri 2018:128).

Buzkıran yardımıyla gerçekleştirilen gemi operasyonlarının, buzla kaplı sularda Kuzey Kutbu Denizi Rotası (Arctic Sea Route) boyunca seyreden ticari gemilerin emniyetli seyrini kolaylaştırmanın temel bir yolu haline geldiğini belirten Zhang ve diğerkleri (2019), yardım edilen gemi ile buzkıran arasındaki olası bir çatışmanın risk faktörlerini belirlemek için İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sisteminin (HFACS) geliştirilmiş bir modelini ve Hata Ağacı Analizini kullanmışlardır.  nver ve diğerkleri (2019) iki zamanlı çalışan gemi ana makinesinin crankcase patlama olayını sistematik olarak incelemek için bulanık ortamda Hata Ağacı Analizi gerçekleştirmişlerdir. Kuzu ve diğerkleri (2019b) gemi bağlama operasyonlarının risk analizini gerçekleştirmek için Bulanık Hata Ağacı Analizi yöntemini kullanmış, bir geminin LNG terminaline yanaşma manevrası esnasında yaşanan kazayı incelemişlerdir.

Kneřević ve diğerkleri (2020)gemi makine sistemlerinde turbo řarj cihazı arızasının kök nedenlerini belirlemek için hata ağacı analizi yöntemini kullanmışlardır. Uluslararası ticaret akışlarına paralel olarak dünyada konteyner kullanımının her geçen yıl arttığını  ne süren Budiyanto ve Fernanda (2020), konteyner limanlarında yaşanan kazaları ve potansiyel riskleri değerlendirmek için Hata Ağacı Analizi gerçekleştirmiştir. Dünya çapında eřit olmayan petrol dağılımı ve ülkeler arasında artan petrol bağımlılığı ile birlikte, petrol ticaretinde tanker taşımacılığı giderek artan bir ağırlık kazandığını  ne süren Chen ve diğerkleri (2020), 2018 Sanchi  atışma ve patlama kazasının ana faktörlerini hata ağacı analizi yöntemini kullanarak sistematik olarak analiz etmişlerdir. Sarıalioğlu ve diğerkleri (2020), gemi makine dairelerinde meydana gelen yangın-patlama kazalarının analizi için İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ve bulanık hata ağacı analizini (FFTA) içeren hibrit bir yöntem kullanmışlardır.

Gemi yangınlarının anlık olması ve gelişen küçük hataların ciddi kazalara neden olabilmesi nedeniyle, gemi yangın kazalarının risk yönetiminin (SFA) deniz taşımacılığı sistemlerinde hayati bir konu olduğunu öne süren Wang ve diğerleri (2021), yeni bir risk modeli geliştirmek ve gemi yangın kazalarının niceliksel bir analizini yapmak için Hata Ağacı Analizi ve Bayes Ağı yöntemlerini kullanmışlardır. Deniz taşımacılığı emisyon kontrolüne yönelik son yasal gerekliliklerin sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) bir deniz yakıtı olarak benimsenmesine ve LNG yakıtlı gemilerin tasarımına yol açtığını belirten Milioulis ve diğerleri (2021), düşük basınçlı bir LNG yakıt besleme sisteminin emniyet analizini gerçekleştirmek için Hata Modları, Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMECA) ile Hata Ağacı Analizini (FTA) birlikte kullanmışlardır. Gemi kazalarının yaklaşık üçte birini oluşturan karaya oturma kazalarının trajik sonuçları olan ‘çok ciddi kaza’ olarak sınıflandırıldığını belirten Şakar ve diğerleri (2021), karaya oturma kazalarının risklerini değerlendirmek için dinamik bir risk değerlendirme metodolojisi olarak birleşik hata ağacı analizi (FTA) ve Bayes ağı (BN) analizini kullanmışlardır. Ahn ve diğerleri (2021), yangın ve patlama kazalarına neden olan faktörleri 4M afet analizi yöntemi kullanarak sınıflandırılmış ve her bir faktörün kaza üzerindeki etkisi hata ağacı analizi (FTA) ile belirlemişlerdir. Hua ve diğerleri (2021), Çin'in Tianjin Limanı'ndaki tehlikeli yük patlamasının nedensel faktörlerini Hata Ağacı Analizi (FTA) yöntemine dayalı olarak sistematik olarak analiz etmişlerdir. Zhao ve diğerleri (2021), çatışma ve karaya oturma kazalarında seyir risk değerlendirmesi için bulanık hata ağacı analizine ve Noisy-OR geçidi Bayes ağına dayalı bir yöntem sunmuşlar ve bu yöntemi Qinzhou Limanı'na uygulamışlardır.

Yağlama yağı sistemlerinin yolcu gemilerinin elektrik santrallerinin emniyetli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli olduğunu belirten Dionysiou ve diğerleri (2022) bir yolcu gemisi yağlama yağı sisteminin analizini gerçekleştirmek için Hata Modları, Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMECA) ile Hata Ağacı Analizini (FTA) birlikte uygulamışlardır. Ugurlu ve Cicek (2022), gemi gemi çatışma kazalarının kök nedenlerini istatistiksel olarak belirlemek için Hata Ağacı Analizi ve Çoklu Uyum Analizini (Multiple Correspondence Analysis) uygulamışlardır. Denizcilik endüstrisinde son kırk yılda konteyner boyutlarında 10 kat artış olduğunu belirten Anantharaman ve diğerleri (2022), ana motorun önemli bir parçası olan turboşarj sisteminin etkinliği ve güvenilirliği değerlendirmek için hata ağacı analizi ve

güvenilirlik blok diyagramlarını kullanmışlardır. Zaib ve diğerleri (2022) ise kazalarda insan kaynaklı hataları bulanık hata ağacı analizi kullanarak incelemişler ve 28 Mart 2020'de İskoçya'nın Skye Adası'ndaki Kyleakin İskeleyi'nde yaşanan kimyasal tanker Key Bora vakasını analiz etmişlerdir. Her iki gemi seyir halindeyken ve açık deniz koşullarında gerçekleştirilen gemiden gemiye tanker manevra operasyonunun geleneksel liman yanaşma manevralarından farklı olarak çatışma açısından bazı benzersiz zorlukları olduğunu ileri süren Sokukcu ve Sakar (2022) bulanık yöntem kullanarak hata ağacı analizini bayes ağ analizi ile entegre ederek çatışma olaylarının olasılıksal bir risk analizini yapmışlardır. Zhao ve diğerleri (2022) seyir kazalarının meydana gelme olasılığını tahmin etmek için bulanık hata ağacı analizi ve Noisy-OR geçidi bayes ağını kullanmışlar ve geliştirdikleri modeli Qinzhou Limanı'na uygulamışlardır.

Tunçel ve diğerleri (2023) dökme yük gemilerindeki yangın ve patlama kazaları için bulanık mantık, hata ağacı analizi (FTA) ve Cut Set Importance Measurement (CS-I) tekniği altında risk analizi yapmışlardır. Gürgen ve diğerleri (2023) Bulanık Hata Ağacı Analizini (FFTA) kullanarak bir geminin dümen kontrolünün kaybindan kaynaklanan kazaların temel nedenlerini araştırmışlardır. Lee ve diğerleri (2023), Otonom Yüzey Gemilerinin Çatışmadan Kaçınma Sistemine yönelik Nicel Hata Ağacı Analizi gerçekleştirmişlerdir. Li ve diğerleri (2023) ise Kuzey Kutbu sularında gemi-buz çatışma kazalarının temel risk faktörlerini nicel olarak analiz etmek için Bayes ağı ve Hata Ağacı Analizini kullanmışlardır.

2.2. BİLİŞSEL GÜVENİLİRLİK VE HATA ANALİZİ YÖNTEMİ (CREAM-COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD)

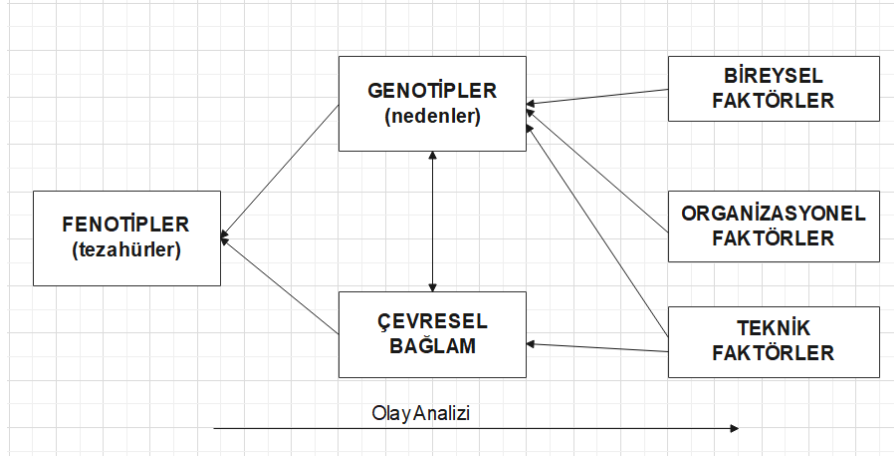
Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) nükleer santral uygulamaları için Hollnagel tarafından 1998 yılında geliştirilmiş, daha önceki 'birinci nesil' tekniklerde yapıldığı gibi, doğal insan hatası olasılıkları kavramından ziyade, belirli bir eylemin gerçekleştirildiği bağlamsal koşullara odaklanan ikinci nesil bir insan güvenilirliği analiz tekniğidir (Marseguerra ve diğerleri, 2006:894-895; Zhou ve diğerleri, 2018:184).

Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM), insanın bilişsel süreçlerinin sistemle nasıl etkileşime girdiğini anlayarak karmaşık sistemlerin güvenilirliğini değerlendirmeye ve geliştirmeye yardımcı olur. Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminde temel varsayım insan performansının, olaylara önceden belirlenmiş tepki dizilerinin sonucu olmasından ziyade durumun gerekliliklerine uyarlanmış kontrollü yetkinlik kullanımının bir sonucu olduğudur. Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminin amacı, iyi yapılandırılmış bir modele, neden-sonuç ilişkilerine ve yönteme dayalı olarak hem performans analizine hem de tahmine çift yönlü bir yaklaşım sunmaktır. Her türlü bilgi işleme ve insan eyleminin bağlantılı ve karşılıklı olarak bağımlı olduğunu kabul etmek önemlidir (Hollnagel, 1998a:151-157). Yöntem hem halihazırda meydana gelmiş olaylarda insan hatası nedenlerini geriye dönük analiz edebilir hem de insanın bilişsel görevlerindeki başarısızlık olasılığını tahmin etmek için bir araç olarak kullanılabilir (L. Zhao ve Liu, 2020:1088-1090).

En yaygın kullanılan ikinci nesil insan güvenilirliği analiz tekniklerinden olan Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi görev analizi, hataları azaltma fırsatı ve sistemin genel emniyeti açısından insan performansını dikkate alma olanağı olmak üzere üç ana çalışma alanına dayanmaktadır (Felice ve diğerleri, 2013:4451). Hollnagel'e (1998) göre operatörün kontrol düzeyi arttığında performans güvenilirliği de artar.

Bu tekniğin temel ve genişletilmiş olmak üzere iki versiyonundan faydalanılır. Temel versiyon, hata olasılığı aralığını anlamak için insan hatasının ilk taramasını sağlar. Genişletilmiş versiyon, hata olasılığının ayrıntılı değerini elde etmek için temel sürümün sonuçlarını kullanır. CREAM metodolojisi, bireysel, teknik ve organizasyonel faktörleri bir arada ele alan bir hata sınıflandırması sunan ve operatör performans analizinin adım adım açıklamasını sağlayan bilişsel bir modele dayanmaktadır. Özellikle sınıflandırma şu iki prensibe dayanmaktadır: İnsan hatası, fenotip adı verilen tezahürleri ve genotip adı verilen nedenleri ile ilgili olabilir; fenotipler, genotipler ve çevre arasındaki etkileşimin sonucudur (Şekil 15) (Felice ve diğerleri, 2013:4452).

Şekil 15: Fenotipler Ve Genotipler Arasındaki Etkileşim



Kaynak: Felice ve diğerleri, 2013:4452

2.1.1. Kontrol Modları

Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) bir biliş modeli olan Bağlamsal Kontrol Modeli'ni (COCOM) kullanır. Bağlamsal Kontrol Modeli (COCOM), eylemlerin nasıl seçildiğine odaklanır ve bir operatörün eylemleri üzerindeki kontrol derecesinin değişken olduğunu ve ayrıca bir operatörün sahip olduğu kontrol derecesinin performansının güvenilirliğini belirlediğini varsayar. Bağlamsal Kontrol Modeli (COCOM), artan kontrol ve performans güvenilirliği sırasına göre ve dolayısıyla insan hatası olasılığının azalan sırasına göre karışık, fırsatçı, taktiksel, stratejik olmak üzere dört kontrol moduna ayrılmıştır. Her kontrol modu tipik bir arıza olasılık aralığı ile ilişkilendirilir. Görevin gerçekleştirildiği belirli bağlamsal senaryo için kontrol modu, bağlamı dilsel tanımlayıcılar açısından nitelendiren dokuz ortak performans koşulu (CPC Common Performance Condition) tarafından belirlenir. Her bir CPC'nin dilsel tanımlayıcısı, performansın güvenilirliği üzerinde, “geliştirilmiş” (improved), “azaltılmış” (reduced) veya “önemli ölçüde etkisi olmamış” (not significantly modified) olması açısından belirli bir bağlamsal etkiyle ilişkilidir (Ung, 2015a:144-147). Tablo 6’da Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminde kullanılan ortak performans koşulları verilmiştir.

Tablo 6: Ortak Performans Koşulları

Ortak Performans Koşulunun adı	Seviye/Tanımlayıcılar
Organizasyonun yeterliliği	Ekip üyelerinin rol ve sorumluluklarının kalitesi, ek destek, iletişim sistemleri, Emniyetli Yönetim Sistemi, dışarıya yönelik faaliyetlere yönelik talimatlar ve yönergeler, dış kurumların rolü vb. Çok verimli / Verimli / Verimsiz / Yetersiz
Çalışma şartları	Ortam aydınlatması, ekranlardaki parlama, alarmlardan kaynaklanan gürültü, görevdeki kesintiler vb. gibi fiziksel çalışma koşullarının niteliği. Avantajlı / Uyumlu / Uyumsuz
İnsan Makine arayüzünün yeterliliği ve operasyonel destek	Genel olarak İnsan-Makine Arayüzü, kontrol panelleri, bilgisayarlı iş istasyonları ve özel olarak tasarlanmış karar yardımcıları tarafından sağlanan operasyonel destek hakkında mevcut bilgileri içerir. Destekleyici / Yeterli / Tolere Edilebilir / Uygun Olmayan
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti	Prosedürler ve planlar, işletme ve acil durum prosedürlerini, rutinleri vb. içerir. Uygun/Kabul edilebilir/Uygun Olmayan
Eşzamanlı hedef sayısı	Bir kişinin aynı anda takip etmesi veya katılması gereken görevlerin sayısı (örneğin, eylemlerin etkilerini değerlendirmek, yeni bilgileri örneklemek, birden fazla hedefi değerlendirmek vb.). Kapasiteden az/Eşleşen mevcut kapasite/ Kapasiteden fazla
Kullanılabilir zaman	Bir görevi gerçekleştirmek için kullanılabilir olan süre, görev yürütmenin süreç dinamikleriyle ne kadar iyi senkronize edildiğine karşılık gelir. Yeterli / Geçici olarak yetersiz / Sürekli yetersiz
Günün saati (sirkadiyen ritim)	Günün saati (veya gece), görevin gerçekleştirildiği zamanı, özellikle de kişinin mevcut saate (sirkadiyen ritim) uyum sağlayıp sağlamadığını tanımlar. Tipik örnekler vardiyalı çalışmanın etkileridir. Günün saatinin işin kalitesi üzerinde etkisi olduğu ve normal sirkadiyen ritim bozulduğunda performansın daha az verimli olduğu köklü bir gerçektir. Gündüz/Gece
Eğitim ve deneyimin yeterliliği	Operatörlere yeni teknolojiye aşinalık, eski becerilerin tazelenmesi vb. konularda verilen eğitimin düzeyi ve kalitesini ifade eder. Aynı zamanda operasyonel deneyim düzeyini de ifade eder. Yeterli, yüksek tecrübe / Yeterli, sınırlı tecrübe / Yetersiz
Ekibin işbirliği kalitesi	Ekip üyeleri arasındaki işbirliğinin kalitesi; resmi ve resmi olmayan yapı arasındaki örtüşme, güven düzeyi ve mürettebat üyeleri arasındaki genel sosyal iklim. Çok verimli / Verimli / Verimsiz / Yetersiz

Kaynak : Hollnagel, 1998b:113

2.2.1.1. Karışık Kontrol Modu (Scrambled Control)

Karıştırılmış kontrol modunda, bir sonraki eylemin seçimi pratikte tahmin edilemez veya gelişigüze'dir. Karıştırılmış kontrol, ne yapılacağını seçerken çok az düşünmenin veya hiç düşünmemenin olduğu bir durumu karakterize eder. Bu tipik olarak, görev taleplerinin çok yüksek olduğu, durumun alışılmadık olduğu ve beklenmedik şekillerde değiştiği, düşünmenin felç olduğu ve buna bağlı olarak durum farkındalığının tamamen kaybolduğu durumdur. Bu mod, operatörün sistem üzerinde minimum kontrole sahip olduğunu gösterir. Karıştırılmış kontrolün aşırı durumu, anlık panik halidir (Hollnagel, 1998c:155).

2.2.1.2. Fırsatçı Kontrol Modu (Opportunistic Control)

Fırsatçı kontrolde bir sonraki eylem, daha istikrarlı niyetler veya hedeflerden ziyade mevcut bağlamın göze çarpan özellikleri tarafından belirlenir. Bir sonraki eylemin seçimi, zaman eksikliği, operatörün deneyimsizliği vb. nedeniyle durumun özelliklerine göre belirlenir. Kişi, belki de bağlam açıkça anlaşılmadığından veya zaman çok kısıtlı olduğundan, çok az planlama veya öngöründe bulunur. Bu durumlarda, kişi genellikle arayüzün algısal olarak baskın özellikleri tarafından veya deneyim ve alışkanlık nedeniyle en sık kullanılan özellikler tarafından yönlendirilecektir (Hollnagel, 1998c:156).

2.2.1.3. Taktiksel Kontrol Modu (Tactical Control)

Bu modda performans planlamaya dayalıdır, dolayısıyla az çok bilinen bir prosedür veya kuralı takip eder. Ancak planlamanın kapsamı sınırlıdır ve dikkate alınan ihtiyaçlar bazen geçici olabilir (Hollnagel, 1998c:156).

2.2.1.4. Stratejik Kontrol Modu (Strategic Control)

Stratejik kontrol modunda zaman genel olarak yeterlidir ve operatör daha yüksek seviyedeki eylemi değerlendirebilir. Bu modda, operatör diğer modlara göre

daha iyi ve verimli performans gösterir. Stratejik kontrolün elde edilmesi açıkça kişinin bilgi ve becerisinden, yani yeterlilik seviyesinden etkilenir(Hollnagel, 1998c:156).

2.2.2. Temel Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) (Temel Versiyon)

Temel versiyonun amacı, bir görev için beklenebilecek performans güvenilirliğinin genel bir değerlendirmesini oluşturmaktır. Temel versiyon insan hatasını değerlendirmenin ilk taramasını sağlar. Tarama, görev bölümlerine veya belirli eylemlere daha ayrıntılı olarak bakan genişletilmiş bir analizle devam etmeye ihtiyaç olup olmadığını veya durumun eylem başarısızlığı olasılığının kabul edilebilir derecede düşük olup olmadığını belirlemek için kullanılabilir. Temel yöntem aşağıdaki üç adımdan oluşur (Hollnagel, 1998d:234-235):

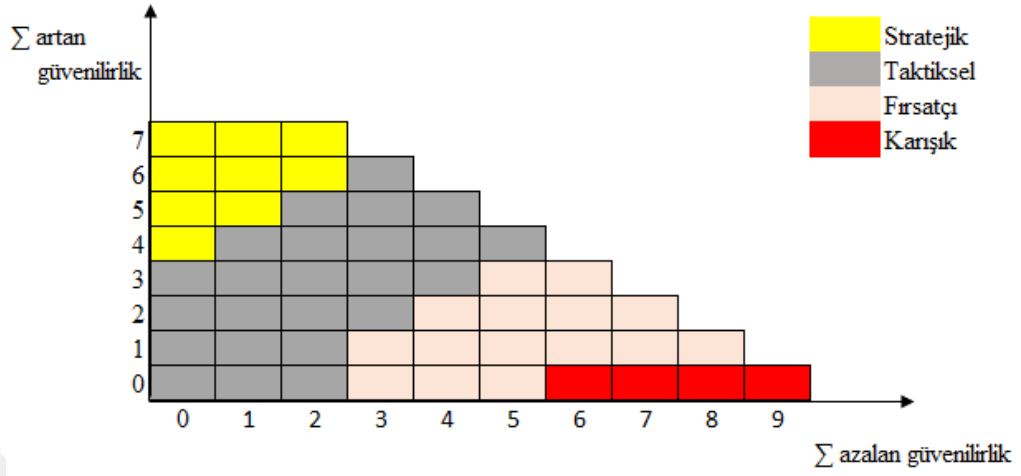
Analiz edilecek görevi veya görev bölümlerini tanımlama: Bir insan güvenilirliği analizinin (HRA) ilk adımı, bir görev analizi veya başka türde bir sistematik görev tanımı olmalıdır. Görev bilinmedikçe, bireysel görev adımlarının ve eylemlerinin sonuçlarını değerlendirmek imkansızdır.

Ortak Performans Koşullarını değerlendirme: Ortak performans koşulları , görevin genel doğasını karakterize etmek için kullanılır ve karakterizasyon, birleşik bir CPC puanı aracılığıyla ifade edilir.

Muhtemel kontrol modunu belirleme: Muhtemel kontrol modu, altta yatan Bilişsel Kontrol Modeli'nin (COCOM) merkezi bir kavramıdır. Muhtemel kontrol modu, birleşik CPC puanından belirlenir. Bir kontrol modunun, eylem arızası olasılığının bir bölgesine veya aralığına karşılık geldiği varsayılır.

Kontrol modları, insan eylemi başarısızlık olasılıklarını temsil eden farklı başarısızlık olasılık aralıkları ile bağlantılıdır. Şekil 16 temel operatör kontrol modlarını gösterirken, tablo 7 kontrol modlarını ve insan hatası olasılık aralıklarını belirtir(Hollnagel, 1998d).

Şekil 16: Operatör Kontrol Modları



Kaynak: Hollnagel, 1998d:239

Tablo 7: Kontrol Modları ve İnsan Hatası Olasılık Aralıkları

Kontrol Modu	İnsan Hatası Olasılığı(HEP) Aralığı
Stratejik	$0.5 \text{ E-}5 < P < 1.0 \text{ E-}2$
Taktiksel	$1.0 \text{ E-}3 < P < 1.0 \text{ E-}1$
Fırsatçı	$1.0 \text{ E-}2 < P < 0.5 \text{ E-}0$
Karışık	$1.0 \text{ E-}1 < P < 1.0 \text{ E-}0$

Kaynak: Hollnagel, 1998d:240

CPC puanı, performans güvenilirliğini azaltması, performans güvenilirliğini artırması ve performans güvenilirliği üzerinde önemli bir etkisi olmaması beklenen durumların sayılmasıyla elde edilebilir. Toplam CPC puanı belirlendikten sonra, insan performansının güvenilirliğini değerlendirmek için temel operatör kontrol modları tanımlanır. Ortak performans koşulları ve performans güvenilirliği ilişkisi Tablo 8’de verilmiştir. Σ azaltılmış ve Σ geliştirilmiş birleştirilmiş puanlar, kontrol modları ekseninde doğru koordinatı verecektir. Ortak performans koşulunun Σ önemli etkisi olmamış’ın birleştirilmiş puanlarının insan performansının güvenilirliği üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bu nedenle göz ardı edilebilir. Dört kontrol modundan biri, temel

operatör kontrol modlarında koordinat eksenini üzerindeki noktayı gösteren ortak performans koşulunun birleşik puanına göre seçilecektir. Daha sonra ilgili kontrol modları için ilgili HEP aralıkları seçilir. Temel Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi (CREAM) tekniğinin amacı genel eylem başarısızlığı olasılığını bulmak olduğundan, kontrol modları ve HEP aralıklarının gerçekçi sonuçlar elde edemeyecek kadar geniş olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, belirli bir eylemde insan performansına ilişkin daha ayrıntılı ve kesin sonuçlar elde etmek amacıyla Temel Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizinin (CREAM) genişletilmiş versiyonu öne sürülmüştür. Bununla birlikte temel yöntem, daha doğru sonuçlar alabilmek adına genişletilmiş versiyon için önemli kaynakları sağlar (Akyuz ve Celik, 2015:42).

Tablo 8: Ortak Performans Koşulları ve Performans Güvenilirliği

Ortak Performans Koşulu (CPC)	Seviye/Tanımlayıcılar	Etkiler
Organizasyonun yeterliliği	Çok verimli (ÇV) Verimli (VL) Verimsiz (VZ) Yetersiz (YZ)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A) Azaltılmış-Reduced (A)
Çalışma şartları	Avantajlı (A) Uyumlu (UL) Uyumsuz(UZ)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A)
İnsan Makine arayüzünün yeterliliği ve operasyonel destek	Destekleyici(D) Yeterli (YL) Tolere Edilebilir (TE) Uygun Olmayan (UO)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (ÖEO)
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti	Uygun (U) Kabul edilebilir (KE) Uygun Olmayan (UO)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A)
Eşzamanlı hedef sayısı	Kapasiteden az (KA) Eşleşen mevcut kapasite (EMK) Kapasiteden fazla (KF)	Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A)
Kullanılabilir zaman	Yeterli (YL) Geçici olarak yetersiz (GOY) Sürekli yetersiz (SY)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A)

Günün saati (sirkadiyen ritim)	Gündüz (GÜ) Gece (GE)	Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A)
Eğitim ve deneyimin yeterliliği	Yeterli, yüksek tecrübe (YYT) Yeterli, sınırlı tecrübe (YST) Yetersiz(YZ)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Azaltılmış-Reduced (A)
Ekibin işbirliği kalitesi	Çok verimli (ÇV) Verimli (VL) Verimsiz (VZ) Yetersiz (YZ)	Geliştirilmiş-İmproved (G) Önemli etkisi olmamış-Not significant (ÖEO) Önemli etkisi olmamış-Not significant Azaltılmış-Reduced (ÖEO)

Kaynak: Hollnagel, 1998d:241

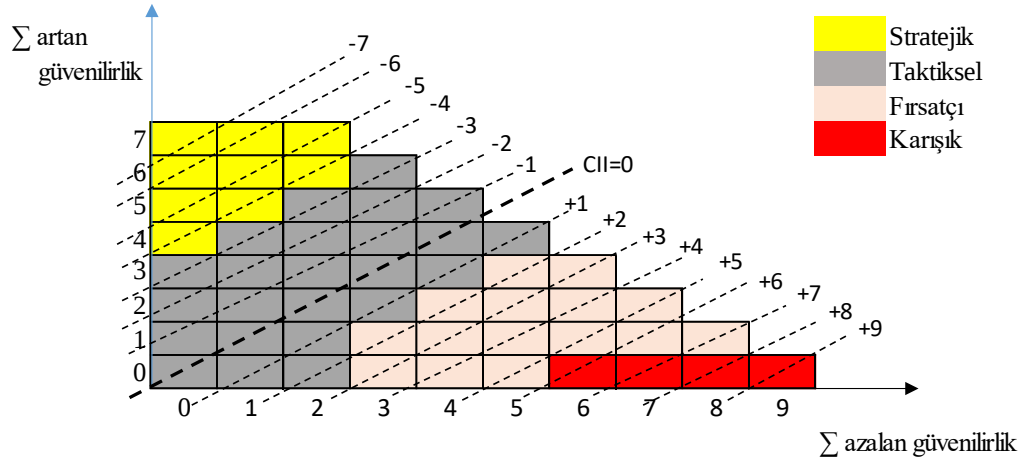
2.2.2.1. Bağlam Etki İndeksinin (CII) Belirlenmesi

Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminin (CREAM) temel versiyonunu basitleştirmek ve ölçmek için CII (bağlam etki indeksi), He ve diğerleri (2008) tarafından önerilmiştir. Bağlam etki indeksi değeri azaltılmış ortak performans koşullarından geliştirilmiş ortak performans koşullarının çıkarılmasıyla bulunur. Bağlam etki indeksi CII aşağıdaki denklem (9) ile hesaplanabilir(He ve diğerleri, 2008:299-300):

$$CII = X - Y = \sum_{azaltılmış} - \sum_{geliştirilmiş} \quad (9)$$

Denklemde X, azaltılmış CPC sayısını, Y ise geliştirilmiş CPC sayısını belirtir. CPC $\sum$ önemli etkisi olmamış için birleştirilmiş puanlarının insan performansı güvenilirliği üzerinde hiçbir etkisi olmadığından, CII değeri 0 olarak kabul edilir. Şekil 17’de CII ve kontrol modları, CII değerini daha doğru hesaplamak için kontrol modlarının bölgelere bölündüğü CPC puanlarına göre gösterilmektedir. Ancak üç istisna vardır. Bir kontrol modundan diğerine sürekli ve kademeli geçişler, komşu modlar arasında var olan potansiyel örtüşmeler için hangi kontrol modunun gerçekten doğru olduğunu söylemek kolay değildir. Tablo 9’da CII ile tanımlanan kontrol modları arasındaki ilişkiler gösterilmektedir(He ve diğerleri, 2008:299-300).

Şekil 17: Bağlam Etki İndeksi (CII) ve Kontrol Modları



Kaynak: Hollnagel, 1998d:239

Tablo 9: Kontrol Modları ve Bağlam Etki İndeksi (CII) Değerleri

Kontrol Modu	CII Değerleri
Stratejik	-7 ve -3 aralığı
Taktiksel	-3 ve 1 aralığı
Fırsatçı	2 ve 5 aralığı
Karışık	6 ve 9 aralığı

Kaynak: He ve diğerleri, 2008:300

2.2.2.2. Bağlam Etki İndeksi CII ve Bilişsel Başarısızlık Olasılığı (CFP): Temel Versiyon

Bağlam etki indeksinin (CII) değeri 0 olduğunda bu, azaltılmış ortak performans koşullarının (CPC) sayısının geliştirilmiş ortak performans koşullarının (CPC) sayısına eşit olduğu veya tüm ortak performans koşullarının (CPC) önemli etkisi olmayan değerler olduğu anlamına gelir. Bu durumda CFP yani bilişsel başarısızlık olasılığı, temel CFP, CFP_0 olarak kabul edilir. Bağlam etki indeksinin (CII) artması, azaltılmış ortak performans koşullarının (CPC) sayısının ve CFP değerinin artması anlamına gelir ve bunun tersi de doğrudur. İnsan etkileşimlerinin güvenilirliğindeki değişikliklerin, dış koşullardaki değişikliklerle birlikte logaritmik

bir fonksiyonla tanımlanabileceği varsayılmaktadır. Birçok insan güvenilirlik analizi yönteminin bu varsayımı uygulaması ve sonuçların pratikte kabul edilebilir olması nedeniyle makul görülmektedir. Yani CFP ile CII arasındaki ilişki ise denklem (10)-(13) ile ifade edilebilir (He ve diğerleri, 2008:300-301):

$$\log(CFP/ CFP_0) = k.CII \quad (10)$$

Burada k sabit katsayıdır ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir:

$$\log(CFP_{\max}/ CFP_0) = k.CII_{\max}, \log(CFP_{\min}/ CFP_0) = k.CII_{\min} \quad (11)$$

sonra

$$k = \log(CFP_{\max}/ CFP_{\min}) / (CII_{\max} - CII_{\min}), \quad (12)$$

$$CFP_0 = CFP_{\max} / 10^{k.CII_{\max}}. \quad (13)$$

CREAM'de azaltılmış ortak performans koşullarının (CPC) maksimum sayısı 9 ve geliştirilmiş ortak performans koşullarının (CPC) maksimum sayısı 7'dir, yani $CII_{\max}=9$ ve $CII_{\min}=-7$ olur. k ve CFP_0 'ı elde etmek için CFP'nin maksimum ve minimum değeri sağlanmalıdır. İnsan güvenilirlik analizinde $CFP_{\max}$ 'ın 1,0 ve $CFP_{\min}$ 'in 0,0001 olduğunu varsaymak mantıklıdır. Yani k 0,25 ve CFP_0 0,0056'dır. Dolayısıyla belirli bir CII değeri için denklem (14) CFP'yi elde etmek amacıyla CREAM'in temel yönteminde kullanılabilir (He ve diğerleri, 2008:301):

$$CFP = CFP_0 \times 10^{0,25.CII} = 0,0056 \times 10^{0,25.CII} \quad (14)$$

2.2.3. Genişletilmiş Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) (Genişletilmiş Versiyon)

Genişletilmiş yöntemin amacı, belirli eylem başarısızlık olasılıklarını saptamaktır. Eylemler, olay ağacı tarafından tanımlananlar veya temel yöntem kullanılarak tarama işlemi sırasında fark edilen eylemler olabilir. Genişletilmiş ve temel yöntemlerin her ikisi de başarısızlık olasılıklarının görevin bir bütün olarak nitelendirilmesinin arka planında tanımlandığı temel ilkeye dayanmaktadır; eylemler, yalıtılmış veya idealize edilmiş bilişsel veya bilgi işleme işlevleri olarak değil, bir bağlamda gerçekleşir. Genişletilmiş yöntem aşağıdaki üç adımdan oluşur(Hollnagel, 1998d:245-246):

Görevin bilişsel taleplerinin bir profilini oluşturma: Bu adımda, olay dizisinin açıklaması, her bir görev adımını veya eylemi karakterize eden bilişsel etkinlikleri tanımlayarak rafine edilir. Bilişsel faaliyetler, temeldeki bilişsel model tarafından açıklanan işlevlere dayalı olarak ana görev bölümleri için bir bilişsel profil oluşturmak için kullanılır.

Olası bilişsel işlev başarısızlıklarını belirleme: Bilişsel faaliyetler ve karşılık gelen bilişsel işlevler tanımlandıktan sonra, CREAM sınıflandırma şemasının ana kategorilerini kullanarak meydana gelebilecek bilişsel işlev başarısızlıklarını önermek mümkündür.

Spesifik eylem başarısızlık olasılığını belirleme: Belirli bir bilişsel işlev başarısızlığına karşılık gelen bir başarısızlık olasılığı, CPC cinsinden ifade edilen performans koşullarının etkisiyle bir dizi temel eylem başarısızlık olasılığını ayarlayarak belirlenebilir.

Genişletilmiş versiyon, temel versiyon tarafından üretilen bilgileri kullandığından, temel versiyondan bağımsız olarak kullanılamaz. Genişletilmiş versiyonun ilk iki adımı, temel versiyonla başlatılan nitel analize devam eder. Son adım, ölçümü sağlar(Hollnagel, 1998d:246).

2.2.3.1. Performans Etki İndeksinin (PII) Belirlenmesi: Genişletilmiş Versiyon

Temel yöntemde CII, azaltılmış ortak performans koşullarının (CPC) sayısı ile geliştirilmiş ortak performans koşullarının (CPC) sayısı arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu, farklı ortak performans koşullarının (CPC) performans güvenilirliği üzerindeki etkilerinin aynı olduğunu ve azaltılmış ortak performans koşullarının (CPC) sayısı geliştirilmiş ortak performans koşullarının (CPC) sayısına eşitse, CII'nın 0 olacağını ve CFP'nin temel CFP₀ olacağını ima eder. Bu basitleştirme, tarama aşamasında kullanılabilir, ancak ayrıntılı ölçüme açık değildir, dolayısıyla bir ortak performans koşulunun performans güvenilirliği üzerindeki spesifik etkisini hesaba katmaz. Bu nedenle detaylı güvenilirlik analizi yapabilmek için CREAM'in genişletilmiş versiyonundan yararlanılabilir. Böylece ortak performans koşullarının performans güvenilirliğine önemli ölçüde etkisi belirlenebilir. Bu bağlamda performans

etki indeksi, ortak performans koşullarının performans güvenilirliği üzerindeki dilsel kümesinin (azaltılmış veya geliştirilmiş) etkisinden ziyade, ortak performans koşullarının belirli niceliksel etkilerini hesaplamak için kullanılmıştır. Dolayısıyla CII, genişletilmiş versiyonunda denklem (15) ile bulunabilir(He ve diğerleri, 2008:300):

$$CII = \sum_{i=1}^9 PII_i \quad (15)$$

Burada PII_i değeri temel olarak CREAM'in genişletilmiş versiyonu tarafından sağlanan ağırlıklandırma faktörüne dayanan ve uzman görüşüyle ayarlanan CPC_i'nin PII'sidir (He ve diğerleri, 2008:300-301).

PII değeri, söz konusu değerlerin farklı durumlarda uygulanabilmesi nedeniyle He ve diğerleri (2008)'nden türetilmiştir. Veri tabanı, tüm bilişsel işlevler (gözlem, yorumlama, planlama ve yürütme) için uygun ağırlıklandırma faktörlerini belirlemek amacıyla oluşturulmuştur. Bu adımın arkasındaki ana fikir, pratik uygulamalarda ilgili CFP'leri belirlemek için CPC kavramlarını ağırlıklandırmak ve kategorilere ayırmaktır. Tablo 10'da her bir CPC için PII değerleri gösterilmektedir(Akyuz ve Celik, 2015:43).

Tablo 10: Ortak Performans Koşulları (CPC) için PII değerleri

Ortak Performans Koşulu (CPC)	Seviye/Tanımlayıcılar	Performans Etki İndeksi (PII)
Organizasyonun yeterliliği	Çok verimli (ÇV) Verimli (VL) Verimsiz (VZ) Yetersiz (YZ)	-0.6 0 0.6 1
Çalışma şartları	Avantajlı (A) Uyumlu (UL) Uyumsuz(UZ)	-0.6 0 1.0
İnsan Makine arayüzünün yeterliliği ve operasyonel destek	Destekleyici(D) Yeterli (YL) Tolere Edilebilir (TE) Uygun Olmayan (UO)	-1.2 -0.4 0 1.4
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti	Uygun (U) Kabul edilebilir (KE) Uygun Olmayan (UO)	-1.2 0 1.4
Eşzamanlı hedef sayısı	Kapasiteden az (KA) Eşleşen mevcut kapasite (EMK) Kapasiteden fazla (KF)	0 0 1.2

Kullanılabilir zaman	Yeterli (YL) Geçici olarak yetersiz(GEOY) Sürekli yetersiz (SY)	-1.4 1.0 2.4
Günün saati (sirkadiyen ritim)	Gündüz (GÜ) Gece (GE)	0 0.6
Eğitim ve deneyimin yeterliliği	Yeterli, yüksek tecrübe (YYT) Yeterli, sınırlı tecrübe (YST) Yetersiz(YZ)	-1.4 0 1.8
Ekibin işbirliği kalitesi	Çok verimli (ÇV) Verimli (VL) Verimsiz (VZ) Yetersiz (YZ)	-1.4 0 0.4 1.4

Kaynak: Akyuz ve Celik, 2015:43

2.2.3.2. Bilişsel Hata Olasılığının (CFP) Belirlenmesi

Bilişsel hata olasılığı (CFP), her bilişsel hata türü için başarısızlık olasılığını gösterir. Nihai insan hatası olasılığını (HEP) elde etmek için CFP değerleri kullanılabilir. Tablo 9’da dört bilişsel işleve (gözlem, yorumlama, planlama ve uygulama) ve bunların temel değerlerine göre nominal başarısızlık olasılığını gösteren toplam 13 genel başarısızlık türü vardır (Hollnagel, 1998d:249-252).

Tablo 11: Bilişsel Hata Türleri için CFP Değerleri

Bilişsel Fonksiyon	Genel Hata Tipi	Temel Değer
Gözlem	O1. Yanlış nesneyi gözlem	1.0 E-3
	O2. Yanlış tanımlama	7.0 E-2
	O3. Gözlem yapılmaması	7.0 E-2
Yorumlama	I1. Hatalı teşhis	2.0 E-1
	I2. Karar hatası	1.0 E-2
	I3. Gecikmeli yorumlama	1.0 E-2
Planlama	P1.Öncelik hatası	1.0 E-2
	P2.Inadequate plan	1.0 E-2
Uygulama	E1. Yanlış türdeki eylem	3.0 E-3
	E2. Yanlış zamanda eylem	3.0 E-3
	E3. Yanlış nesneye ilişkin eylem	5.0 E-4
	E 4. Sıraya uymayan eylem	3.0 E-3
	E5. Kaçırılan eylem	3.0 E-2

Kaynak : Hollnagel, 1998d:252

CFP ile CII arasındaki ilişki aşağıdaki denklem (16) ile hesaplanabilir(He ve diğerleri, 2008:300):

$$CFP = CFP_0 \times 10^{0.25 CII} \quad (16)$$

Denklemde, CFP_0 Tablo 11'da verilen nominal bilişsel başarısızlık olasılığını gösterirken, CFP nihai bilişsel başarısızlık olasılığını gösterir (Xi ve diğerleri, 2017:49).

2.2.3.3. İnsan Hatası Olasılığının (HEP) Belirlenmesi

CREAM genişletilmiş versiyonunda, ilgili görevin birkaç alt görev bölümüne veya adımına bölünmesi gerekir. Her bir alt görev için en olası bilişsel başarısızlık türü belirlenir ve ardından $CFP = CFP_0 \times 10^{0.25 CII}$ denklemi ile hesaplanabilir(He ve diğerleri, 2008:300). Bu aşamada PSA (Olasılıksal Emniyet Değerlendirmesi) HTS (Hiyerarşik Görev Analizi) kullanılarak olasılık değerleri tek bir değerde birleştirilebilir. Dikkate alınan önemli nokta alt görev bağımlılığının belirlenmesidir. Bunun en basit iki yolu seri ve paralel sistem olarak bilinir. Sistemin paralel mi yoksa seri mi olduğuna karar vermek için aşağıdaki kurallardan yararlanılabilir (Akyuz ve Celik, 2015:44):

–Bir alt görevin başarısızlığı kombinasyonun çalışamaz hale gelmesine neden oluyorsa, iki alt görevin seri olduğu kabul edilir.

–Bir alt görevin başarısız olması, diğer bölümün başarısız olan bölümün işlemlerini devralmasına yol açıyorsa, iki alt görevin paralel olduğu kabul edilir.

Paralel alt görevlerin sistemde bağımlılığı yüksekse minimum HEP değeri tercih edilir. Bu, alt görevlerden herhangi birinin başarılı olması durumunda ilgili diğer görevlerin çalıştırılabileceği anlamına gelir. Alt görevlerin paralel bir sistemde bağımlılığı azsa veya hiç yoksa HEP değerleri çarpılacaktır. Öte yandan seri alt görevlerin sistemde bağımlılığının yüksek olması durumunda maksimum HEP değeri tercih edilir. Bu, alt görevlerden herhangi birinin başarısız olması durumunda ilgili görevlerin çalıştırılamayacağı anlamına gelir. Benzer şekilde, bir seri sistemde alt

görevlerin bağımlılığı düşükse veya hiç yoksa HEP değerleri toplanacaktır. Tablo 12 kurallara uygun notasyonları göstermektedir (He ve diğerleri, 2008:302).

Tablo 12: Bir Görevin HEP Değerini, Alt Görevlerinin HEP Değerlerinden Hesaplama

Sistem açıklaması	Sistem alt görev bağımlılığı	Görevin insan hatası olasılığı (HEP)
Paralel sistem	Yüksek bağımlılık Düşük veya hiç bağımlılık yok	$HEP_{görev} = \min \{ HEP_{alt\ görev\ i} \}$ $HEP_{görev} = \prod \{ HEP_{alt\ görev\ i} \}$
Seri Sistem	Yüksek bağımlılık Düşük veya hiç bağımlılık yok	$HEP_{görev} = \max \{ HEP_{alt\ görev\ i} \}$ $HEP_{görev} = \sum \{ HEP_{alt\ görev\ i} \}$

Kaynak : He ve diğerleri, 2008:302

2.2.4. Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminin Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması

Nükleer santrallerde insan güvenilirliği analizi için geliştirilen Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi insan hatasını tahmin etmek için 1990'ların sonlarında Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından da kullanılmaya başlanmıştır (Calhoun ve diğerleri, 2014:3). Günümüzde bu yöntem diğer endüstrilerde de uygulanmaktadır. Özellikle denizcilik endüstrisi için bilim insanları denizcilik faaliyetlerinde insan güvenilirliğini değerlendirmek için bu yöntemi uygulamışlardır (Q. Zhou ve diğerleri, 2018:183-185).

Mitomo ve diğerleri (2012), çalışmalarında deniz kazalarını nedenini araştırmak için Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminde kullanılan ortak performans koşullarını (CPC) denizciliğe uyarlamışlardır. Geriye dönük deniz kazalarına yönelik gerçekleştirdikleri çalışmalarının sonucunda, diğer gemiyle çatışmanın nedeninin iletişim olduğunu bulmuşlardır (Mitomo ve diğerleri, 2012:100-104).

Modern denizcilik faaliyetlerinin teknolojik, sosyal ve çevresel faktörlerin çoğu zaman insan hatalarının oluşmasına katkıda bulunduğu oldukça karmaşık bir insan-makine sistemi aracılığıyla yürütüldüğünü belirten Yang ve diğerleri (2013), bulanık kanıtsal akıl yürütme ve Bayes çıkarım mantığını birleştirerek denizcilik mühendisliğinde insan güvenilirliğinin ölçülmesini kolaylaştırmak için değiştirilmiş

bir Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) önermişlerdir (Z. L. Yang ve diğerleri, 2013:293-303).

Yoshimura ve diğerleri (2015) de Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminde kullanılan ortak performans koşullarını (CPC) denizde çatışma kazalarına uyarlamış ve ortak performans koşullarının (CPC) bağımlılığını ve önceliğini ölçmek amacıyla uzak yol vardiya zabıtlarına bir anket uygulamış, deniz kazalarının geriye dönük analizine yönelik bir çalışma ortaya koymuşlardır (Yoshimura ve Takemoto, 2015:1-4).

Gemilerdeki mürettebatın genellikle insan hatalarının ortaya çıkmasına katkıda bulunabilecek teknolojik, çevresel ve sosyal faktörlerin bulunduğu durumlarda görevlerini yerine getirdiğini belirten Ung (2015b), bulanık Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemlerinin (CREAM) bu tür zorlukların üstesinden gelebilen en tanınmış insan güvenilirlik analizi yöntemlerinden biri olduğunu öne sürmüş ve kural tabanlı bir yaklaşıma dayalı olarak yeni bir bulanık Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) metodolojisi önermiştir (Ung, 2015b:144-152). Birbiriyle bağlantılı yorgunluk faktörlerinin ortak modellerini belirlemek için insan yorgunluğuna bağlı deniz kazalarına ilişkin derinlemesine çalışmalardan elde edilen kaza çizelgelerini birleştirmeyi amaçlayan Akhtar ve diğerleri (2015), deniz kazaları için değiştirilen Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemini (CREAM) kullanarak kazaları analiz etmişlerdir (Akhtar ve Utne, 2015:186-206).

Sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) depolanması ve elleçlenmesi süreçlerinin deniz taşımacılığında karmaşık bir operasyonel ortam oluşturduğunu öne süren Akyuz ve Celik (2015), insan güvenilirliğinin (arızasız çalışma) yükün sürdürülebilir şekilde taşınmasında çok önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. LPG tanker gemilerinde kargo yükleme sürecinde insan güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminin (CREAM) temel ve genişletilmiş versiyonlarını kullanmış ve spesifik olarak modeli operasyonel bir vaka çalışmasıyla göstermişlerdir (Akyuz ve Celik, 2015:39-48).

Chen ve diğerleri (2017), çalışmalarında karmaşık insan-makine sistemi ile birlikte denizcilik mühendisliğinde insan hatası olasılığı hesaplamalarına yönelik ortak performans koşullarının (CPC) nötr etkilerini de hesaba katmak için genişletilmiş bir Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) ortaya koymuşlardır (Z.

Chen ve diğerleri, 2017:1-5). Xi ve diğerleri (2017) çalışmalarında insan hatası olasılık ölçümünü daha rasyonel hale getirmek için Kanıtsal Akıl Yürütme (ER) yaklaşımı ile Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) tekniğine dayanan değiştirilmiş bir Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) metodolojisi sunmuşlar ve denizcilik operasyonlarıyla ilgili bir vaka çalışmasına uygulamışlardır (Xi ve diğerleri, 2017:45-54). Deniz kazası sürecinde insan hatası olasılığını kanıtsal akıl yürütme yaklaşımına dayanarak tahmin etmek için değiştirilmiş bir bilişsel güvenilirlik ve hata analizi yöntemi (CREAM) öneren Wu ve diğerleri (2017), bu yöntemi bir geminin alabora olması kazasının insan güvenilirliği analizi için uygulamışlardır (B. Wu ve diğerleri, 2017:1936-1957).

Gaz türbin sistemleri ile seyreden gemilerdeki bütün bileşenlerin bakımı, yönetimi ve izlenmesi noktasın da insan etkisinin öneminin büyük ve kritik bir rol oynadığını belirten Demirel (2019), çalışmasında gaz türbini bileşenleri için literatürde ifade edilen 14 kritik arızadaki insan hatası olasılığını, uzman görüşleri olarak bilişsel güvenilirlik ve hata analizi yöntemi (CREAM) yöntemi ile hesaplamıştır (Demirel, 2019:151-163). Bir bayes ağında verilen her değişken için koşullu olasılık değerlerini oluşturmak için genellikle bir grup alan uzmanından yüksek düzeyde bilgi ve mühendislik çabası gerektirdiğini belirten Yang ve diğerleri (2019), çalışmalarında eksik veriler altında insan güvenilirliği analizini kolaylaştırmak amacıyla kanıta dayalı muhakeme (ER) yaklaşımını bayes ağıyla birleştirmek için yeni bir hibrit yaklaşım sunmuş ve bu hibrit yaklaşımı, denizcilik alanındaki insan hatası olasılığını tahmin etmek için bilişsel güvenilirlik ve hata analizi yöntemi (CREAM) kullanarak göstermişlerdir (Z. Yang ve diğerleri, 2019:1-13).

Demirel (2020), çalışmasında deniz dizel motorlarının yardımcı sistemlerinde insan hatasından kaynaklanabilecek 20 arızanın sistematik bir değerlendirmesini yapmak üzere uzmanlardan görüş alarak bu arızalardaki insan hatası olasılığını belirlemek için Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemini (CREAM) kullanmıştır (Demirel, 2020:128-137). Ahn ve Kurt (2020), insan hatası ölçümünün güvenilirliğini artırmak için bulanık çoklu niteleyici grup karar verme yöntemi (fuzzy multiple attributive group decision-making method,), bayes ağları ve kanıtsal akıl yürütme yöntemini kullanarak gerçekleştirdikleri bağlam değerlendirmesinin bulanık sonucunu, dış koşullara bağlı olarak değişen insan hatası olasılığını dikkate almak için

Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yönteminde (CREAM) kullanarak yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Bu yaklaşımı makine dairesi yangınlarına acil müdahalede insan güvenilirliğini değerlendirmek için kullanmışlardır (S. Ahn ve Kurt, 2020:1-15). Zhang ve diğerleri (2020), insan hatası olasılığı (HEP) tahmininin kalitesini güçlendirmek üzere değiştirilmiş bir bulanık Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemini (CREAM) bir petrol terminalindeki petrol tahliye işleminde insan hatası olasılığını tahmin etmek için kullanmışlardır (R. Zhang ve diğerleri, 2020:84-92).

İstenmeyen LNG salınımının ciddi sonuçlara yol açabilmesi nedeniyle LNG ikmal operasyonlarında niceliksel risk değerlendirmesi (QRA) yapılmasının bazı düzenlemeler gereği zorunlu hale geldiğini belirten Fan ve diğerleri (2022), LNG yakıt ikmal sektöründe insan hatası olasılığını değerlendirmek için bulanık bayes ağı-Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemini (CREAM) kullanmışlardır (H. Fan ve diğerleri, 2022:1-21).

2.3. BİLİŞSEL GÜVENİLİRLİK HATA ANALİZİ YÖNTEMİ (CREAM) VE HATA AĞACI ANALİZİ (FTA)

Yapılan çalışmalarda geleceğe yönelik yapılan insan hatası olasılığı hesaplamalarında, Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemiyle (CREAM) beraber Hata Ağacı Analizi, bayes ağları gibi çeşitli metotların bir arada kullanıldığı görülmektedir. Özellikle denizcilik sektöründe Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemiyle yapılan çalışmalarda insan hatası olasılığı hesabında bu metotların bir arada kullanımının yaygın olduğu görülürken denizcilik alanında Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemiyle Hata Ağacı Analizinin bir arada kullanıldığı az sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir.

Le ve diğerleri (2012) , çalışmalarında otomobil motor montaj hattındaki kazaları Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi (CREAM) ve Hata Ağacı Analizi (FTA) ile analiz etmişler, bir vaka çalışmasına uygulamış ve sabırsız operasyon, yetersiz beceri eğitimi, zayıf emniyet bilinci öne çıkan kök nedenler olarak bulmuşlardır (Le ve diğerleri, 2012:154-157).

Che ve diğerleri (2021), çalışmalarında havacılıkta zihinsel iş yükü aşırı yüklenmesinin (MWLOL) analizinde Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi ve

Hata Ağacı Analizini de içeren yeni bir yöntem öne sürmüşlerdir. Maryland'de meydana gelen bir helikopter kazasını bu yöntemle analiz etmişlerdir (Che ve diğerleri, 2021:646-658). Boryczko ve diğerleri (2022b) çalışmalarında su temin sistemi ile ilgili araştırma metodolojisini ve pratik uygulamaları genişletmek amacıyla Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi ve Hata Ağacı Analizini uygulamışlardır ve acil duruma yola açan olayları tanımlamışlardır. Operatörün güvenilirliği üzerine hem niteliksel hem de niceliksel olarak bir değerlendirme gerçekleştirmişlerdir (Boryczko ve diğerleri, 2022b:1-13).

Sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) olası dökülmesinin, yangın ve patlama tehlikesi nedeniyle mürettebatın emniyetini tehlikeye attığını belirten Zhou ve diğerleri (2017), LNG taşıyıcılarının elleçleme operasyonları sırasında LNG sızıntısı kazası için değiştirilmiş bir hata ağacı modeli oluşturmuş, Hata Ağacı Analizi (FTA) ve Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yönteminin (CREAM) sonuçlarını birleştirmiş, riskleri Monte Carlo Simülasyonu (MCS) kullanarak değerlendirmişlerdir (T. Zhou ve diğerleri, 2017:183-191).

Ung (2018) petrol tankerlerinin karaya oturmasında insan hatasının payını değerlendirmek üzere gerçekleştirdiği risk analizinde, Hata Ağacı Analizine (FTA) dayalı olarak yeni bir bulanık Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi (CREAM) modeli kullanmıştır. Çalışmasının sonucunda yorgunluk ve Uluslararası Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG) ihlallerinin gemilerin karaya oturmasını tetikleyen hayati unsurlar olduğunu belirtmiştir (Ung, 2018:16-28). Yine Ung (2019), bu defa petrol tankerinde çatışma kazasında insan hatası olasılığını değerlendirmek için değiştirilmiş Bulanık Bayes Ağı tabanlı Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi (CREAM) ve Hata Ağacı Analizi (FTA) yapısını kullanmıştır (Ung, 2019a:159-172).

Petrol/kimyasal tanker gemilerinde operasyonel emniyetin artırılması ve çevrenin korunması açısından risk değerlendirmesinin büyük önem taşıdığını belirten Aydın ve diğerleri (2021), sonuçların insan ve deniz ortamı için ölümcül olabileceğinden, sızıntıdan kaynaklanan petrol/kimyasal tanker kirliliğine yönelik kapsamlı bir risk analizi yapmak amacıyla, hata ağacı analizi (FTA) ve hata ağacında insan kaynaklı hataların belirlenmesinde genişletilmiş bilişsel güvenilirlik ve hata analizi yöntemi yaklaşımını (CREAM) kullandıkları bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Aydın ve diğerleri, 2021:1838-1859).

Yanıcı maddeler, elektrik arkları, güvertede sıcak çalışma gibi tehlikeli işlemler veya statik elektrik nedeniyle patlama meydana gelebileceğini belirten Elidolu ve diğerleri (2022), tanker gemilerinde statik elektrik kaynaklı patlama ve yangın kazalarında niceliksel hata analizi gerçekleştirmek amacıyla çalışmalarında bow-tie, hata ağacı analizi (FTA), bilişsel güvenilirlik ve hata analizi yöntemini (CREAM) birlikte kullanmışlardır (Elidolu ve diğerleri, 2022:1-18).

2.4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜME TEORİSİ

"Bulanık mantık" teriminin iki farklı anlamı vardır. Dar anlamda, 20. yüzyılın başlarından bu yana sembolik mantık alanında araştırılan çeşitli çok değerli mantıkların bir genellemesi olarak görülmektedir. Alternatif, geniş anlamda ise kesin olmaktan ziyade yaklaşık olan akıl yürütme tarzlarını ele almaya yönelik bir kavramlar, ilkeler ve yöntemler sistemi olarak görülür (Klir, 2001:92-93). Geniş anlamda bulanık mantık bulanık küme teorisini kapsar(Tekin ve Karanfil, 1995:3). Bulanık mantık, doğal dilde ifade edilen, koşulsuz veya koşullu, niteliksiz veya nitelikli, niceliksiz veya niceliksel olabilen önermelerle ilgilenir (Klir, 2001:101).

Zadeh tarafından 1965 yılında geliştirilen bulanık mantık ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisi sayesinde belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır (Altaş, 1999:81) Bulanık kümeler, herhangi bir verili evrensel küme üzerinde, klasik kümelerin karakteristik işlevlerine benzer işlevlerle tanımlanır. Bu fonksiyonlara üyelik fonksiyonları denir. Her üyelik fonksiyonu, evrensel kümenin her bir elemanına bulanık kümedeki üyelik derecesini atayarak, belirli bir evrensel küme üzerinde bir bulanık küme tanımlar (Klir, 2001:95).

Bulanık küme, üyelik derecelerinin sürekli olduğu bir nesne sınıfıdır. Böyle bir küme, her bir nesneye 0 ile1 arasında değişen bir üyelik derecesi atayan bir üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir (Zadeh, 1965:339).

Bulanık küme teorisi kesin olmayan, belirsiz veya kısmen doğru bilgilerle başa çıkmak için Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Kümeye tamamen dahil olmayan elemanların üyelik değerleri 0, kümeye tamamen dahil olanların üyelik değerleri de 1 olarak atanmaktadır. Kümeye dahil olup olmadığı belirsiz olan elemanlara ise belirsizlik durumuna göre 0 ile 1 arasında değerler atanır. 0 ile 1 arasındaki değerler

kısmi üyeliği temsil eder, burada değer ne kadar yüksekse üyelik derecesi de o kadar güçlü kabul edilmektedir. Oysa klasik küme teorisinde belirsiz eleman diye bir şey söz konusu değildir, bir kümedeki bir elemanın üyeliğinin ikili olduğu kabul edilir; yani eleman ya bir kümeye aittir ya da bir kümeye ait değildir. Bununla beraber bulanık küme teorisi ise bir kümenin bir elemanının $[0, 1]$ aralığından bir üyelik değerine sahip olmasını mümkün kılar (Kabir ve Papadopoulos, 2018:30; Tekin ve Karanfil, 1995:5-7).

Zadeh tarafından bulanık mantığın ilkeleri özetle şu şekilde ifade edilmiştir (Keskenler ve diğerleri, 2017:7);

- Bulanık mantıkta kesin belli değerler yerine yaklaşık değerler kullanılır.
- Bilgi çok az, az, küçük, büyük gibi dilsel ifadeler ile tanımlanabilir.
- Tüm değerler $[0-1]$ aralığında bir üyelik derecesi ile gösterilir.
- Her mantıksal ifade bulanık ifadeye dönüştürülebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli kompleks ve zor olan sistemler için uygun bir yöntemdir.

2.4.1. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme teorisinde, bir nesnenin bir kümeye ait olma derecesini ifade eden üyelik fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlar genellikle 0 ve 1 aralığında değer alır ve bir nesnenin o kümeye ne kadar uyduğunu belirtir. Üyelik fonksiyonları, bir nesnenin bir bulanık kümedeki aitlik derecesini ifade eder. Bu derece genellikle $[0, 1]$ aralığında olup, tam üyelik durumunda 1'e, hiç üyelik durumunda ise 0'a eşittir. Bir bulanık kümenin "çekirdek" (core) kısmı, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğelerin toplandığı bölümdür. Bu, bulanık kümenin en güçlü üyelerini içeren kısmı temsil eder. Bu öğeler tam anlamıyla o kümenin bir parçasıdır ve üyelik dereceleri 1'dir. Burada $\mu(x)=1$ 'dir. Bir bulanık kümenin "dayanağı" (support), o kümenin tüm öğelerini içeren aralığı ifade eder. Dayanak, bulanık kümenin üyelik fonksiyonu tarafından 0'dan farklı bir değere sahip olan ve bu nedenle kümenin tamamen içinde bulunan öğeleri temsil eden bir bölgedir. Bunun matematiksel ifadesi $0 < \mu(x)$ şeklindedir (Karataş ve diğerleri, 2020:3).

Bulanık üyelik fonksiyonu, x 'in A 'daki üyelik derecesini tanımlayan bir ifadedir. Başka bir deyişle, bulanık A alt kümesini 0 ile 1 arasında ve dahil olmak üzere bir üyelik değerine eşleyen bir fonksiyondur. Geleneksel küme teorisindeki, bir alt kümedeki bireysel nesnelerin üyeliğinin ya ait olduğunu ya da hiç olmadığını ima eden karakteristik $\mu_A(x) \rightarrow \{0,1\}$ fonksiyonunun aksine, A 'daki x 'in bulanık üyelik fonksiyonu denklem (17) ile ifade edilir (McBratney ve Odeh, 1997:88):

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1] \quad (17)$$

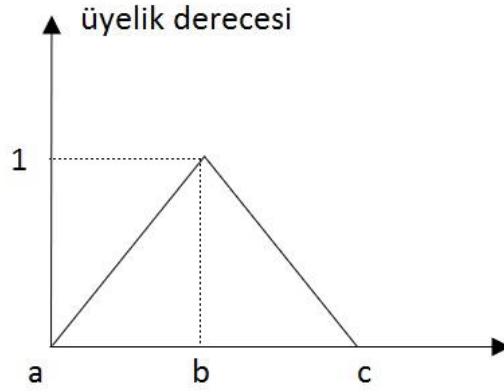
Bulanık küme teorisinin esnekliği, üyelik fonksiyonlarının çeşitli şekillerde tanımlanabilmesi ile ortaya çıkar. Grafiklerde küme üyelerini değerleriyle gösteren eğri üyelik fonksiyonudur. Üyelik fonksiyonları, bir öğenin bir bulanık kümedeki aitlik derecesini belirler ve bu fonksiyonlar $[0, 1]$ aralığında değer alır. Üyelik fonksiyonu eğrisinde x eksen üyeleri temsil ederken, y eksen ise üyelik derecelerini temsil eder. Birçok üyelik fonksiyonu vardır. Üçgen üyelik fonksiyonu, en basit üyelik fonksiyonudur. Yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoidal ise fonksiyonlarda yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır (Kaftan ve diğerleri, 2013:17).

Bulanık küme teorisinin kullanışlılığı, belirli bir kavramı veya sistemi modellemek için uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme yeteneğine dayanmaktadır. "Üçgen" ve "yamuk" gibi basit üyelik fonksiyonları en yaygın kullanılan fonksiyonlardır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003:65).

Üçgen üyelik fonksiyonu a, b, c olmak üzere üç parametre ile tanımlanır ve denklem (18) ile hesaplanırken grafiksel gösterimi ise Şekil 18'deki gibidir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003:65).

$$\mu_A(x) = \mu_A(x;a,b,c) = \begin{cases} (x - a) / (b - a), & a \leq x < b \\ (c - x) / (c - b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (18)$$

Şekil 18: Üçgen Üyelik Fonksiyon

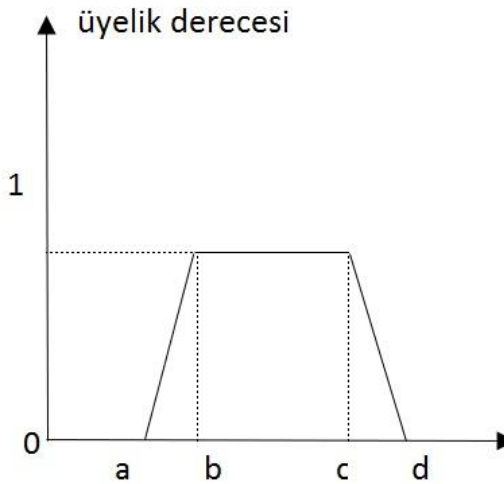


Kaynak : Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003:65

Yamuk üyelik fonksiyonu a, b, c, d olmak üzere dört parametre ile tanımlanır ve denklem (19) ile hesaplanırken grafiksel gösterimi ise Şekil 19'daki gibidir (Kaftan ve diğerleri, 2013:18).

$$\mu_A(x) = \mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x - a) / (b - a), & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ (d - x) / (d - c), & c < x \leq d \\ 0, & x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (19)$$

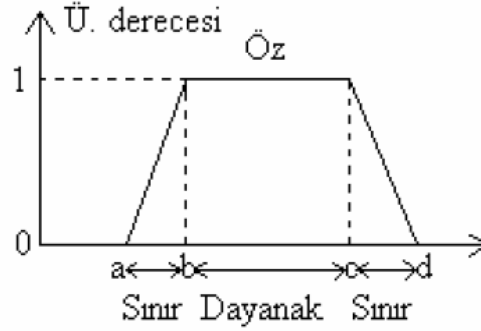
Şekil 19: Yamuk Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Kaftan ve diğerleri, 2013:18

Üyelik fonksiyonlarının öz, dayanak, sınır gibi özellikleri Şekil 20’ de gösterilmiştir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003:66).

Şekil 20: Üyelik Fonksiyonu



Kaynak : Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003:66

2.4.2. Bulanık Sayılar

Gerçek hayat problemlerinde matematiksel modellemede kullanılan parametreler ve veriler belirsizdir. Belirsizlik, bulanık sayılar ve bulanık kümelerle açıklanabilir. Bulanık veri analizi, bulanık mantıktan daha fazlasını gerektirir: bulanık aritmetik gerektirir. Bunun gelişimi, gerçek sayıların bulanık bir karşılığını oluşturmak için, gerçek ekseninde tanımlanan bulanık kümelerin iyi kurulmuş bir teorisine dayanmalıdır (Kosiński ve diğerleri, 2003:327). Bulanık sayılar, kesin olmayan sayısal büyüklükleri pratik bir şekilde ele almak için Zadeh tarafından öne sürülmüştür (Dijkman ve diğerleri, 1983:301).

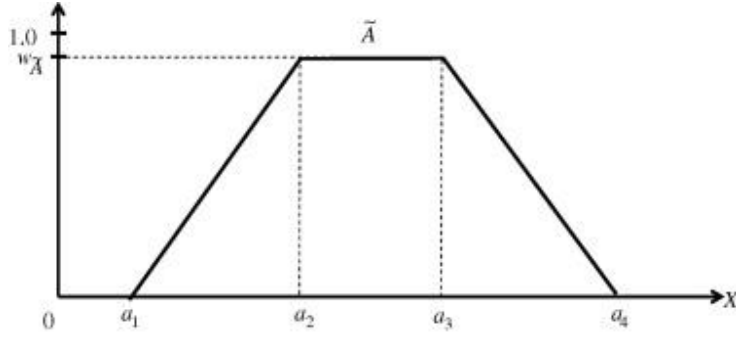
Bulanık sayılar, "çok", "en azından" veya "yaklaşık" gibi dilsel ifadelerin, bulanık niceleyicilerin veya bulanık önem derecelerinin matematiksel modelini yapmamıza olanak sağlar (Heilpern, 1997:5).Dijkman ve diğerleri (1983) bu durumu günlük yaşamda gerçek bir sayıyı belirtmek için "yaklaşık üç", “üç civarında” gibi ifadelerin sıklıkla kullanılması şeklinde örneklemiştir (Dijkman ve diğerleri, 1983:301). Dijkman ve diğerlerine (1983) göre bu tür belirsiz kavramların daha kesin ve işlevsel hale getirilmesinin büyük değeri vardır ve bu amaçla belirsiz kavramların sezgisel anlamlarını herkes için tatmin edici bir şekilde yansıtan iyi tanımlanmış matematiksel kavramlar ortaya konabilir. Bulanık sayı, sübjektif değerlendirmelerin sonucu ortaya çıkan belirsizlikleri tanımlamada etkin biçimde kullanılmaktadır

(D'Urso ve Gastaldi, 2002:1). Bulanık mantık konusunun temel elemanı bulanık kümedir. Bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ile karakterize edilirler. Aslında bu üyelik fonksiyonları da birer bulanık sayıdır (Altaş, 1999:82).

Üyelik derecelerine göre bulanık sayılar küme şeklinde gösterilebilirler. Ancak bulanık sayılar kümesinin her zaman dar olmadığı durumlarda küme şeklinde gösterim yerine bulanık sayıların fonksiyonlar ile gösterimi gerekebilir. Farklı bulanık sayı çeşitleri arasında en sık kullanılanlar üçgensel ve yamuk bulanık sayılardır. Bu sayılar isimlerini üyelik fonksiyonlarının şekillerinden almaktadırlar. Üçgensel bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3) gibi üç adet gerçek sayı ile gösterilirler. Bu parametreler sırasıyla en küçük değeri, alınabilecek en büyük değeri ve en geniş değeri temsil etmektedirler. Yamuk bulanık sayılar ise (a_1, a_2, a_3, a_4) gibi dörtlü gerçek sayılar ile gösterilirler. $[a_2, a_3]$ aralığı büyüklüğün kesinlikle gösterilebildiği sayıları ifade ederken; a_1 ve a_4 parametreleri sırasıyla alt ve üst sınırları temsil ederler (Kılınç, 2008:53).

X söyleminin evreni R gerçel sayıların alt kümesi olsun, $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. X 'teki bir bulanık küme, $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$ üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan sıralı çiftlerden oluşan bir kümedir ve $\mu_A(x)$ için üyelik fonksiyonu denir, $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$ şeklinde gösterilir. Bulanık kümeler için üyelik fonksiyonu kapalı aralık $[0,1]$ 'den herhangi bir değer alabilir. $\mu_A(x)$ değeri ne kadar büyük olursa x ögesinin A kümesine ait olduğu önermesinin doğruluğu da o kadar büyük olur (Benítez ve diğerleri, 2007:547). A genelleştirilmiş yamuk bulanık sayı olsun, $A = (a_1, a_2, a_3, a_4; w_A)$, şekil 2.14'te gösterildiği gibi a_1, a_2, a_3 ve a_4 gerçek değerler olduğunda w_A A yamuk bulanık sayısının yüksekliğini belirtir ve $w_A \in [0,1]$. Eğer $0 \leq a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4 \leq 1$ olursa A standartlaştırılmış yamuk bulanık sayı olarak adlandırılır. Eğer $w_A = 1$ olursa A geleneksel yamuk bulanık sayı haline gelir ve $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ şeklinde temsil edilebilir. Eğer $a_2 = a_3$ ise o zaman A üçgensel bir bulanık sayıdır. Eğer $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$ ise A net bir değerdir (crisp value). Geleneksel bulanık sayı ile genelleştirilmiş bulanık sayı arasındaki fark, geleneksel bulanık sayının yüksekliğinin 1'e eşit olması, genelleştirilmiş bulanık sayının yüksekliğinin ise 0 ile 1 arasında olmasıdır. Genelleştirilmiş üçgen bulanık sayının $A = (a_1, a_2, a_3; w_A)$, genelleştirilmiş yamuk bulanık sayı gösterimi ile de temsil edilebileceği açıktır; $A = (a_1, a_2, a_3; w_A) = (a_1, a_2, a_3, a_4; w_A)$, $w_A \in [0,1]$ (S. M. Chen ve Chen, 2009:6310).

Şekil 21: Genelleştirilmiş Bir A Yamuk Bulanık Sayısı



Kaynak: S. M. Chen ve Chen, 2009:6310

Üçgensel bir bulanık sayının üyelik fonksiyonu ise şekil 21’deki gibi gösterilir. Bu araştırma çalışmasında yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır.

2.4.3. Sözel Değişkenler (Dilsel İfadeler)

Zadeh, dilsel değişken kavramını "değerleri sayılar değil, doğal veya yapay bir dildeki kelimeler veya cümleler olan bir değişken" olarak tanımlamıştır. Dilsel bir değer, bir sayıdan daha az kesindir ancak belirsizlikle ilgili sorunları başarılı bir şekilde çözmek için kullanılan insanın bilişsel süreçlerine daha yakındır (Rodriguez ve diğerleri, 2012:110).

İlk olarak 1973 yılında Zadeh tarafından ortaya atılan dilsel değişken kavramı bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları için kullanılmaktadır. Sayısal değerlerin yerine değişkenlerin kelime veya cümle olarak ifade edilmesine dilsel değişkenler denmektedir. Bulanık mantığın en önemli yapı taşlarından biri olan dilsel değişken hem değeri bulanık bir sayı hem de dilsel terimlerle tanımlanan değişkenlerdir. Bir problemin bulanık mantık ile modellenmesinde girdi ve çıktı değişkenleri rol oynar. Her bir girdi ve çıktı değişkeni için farklı üyelik fonksiyonları oluşturulur. Bu değişkenlerin üyelik fonksiyonları “az, orta, çok, düşük, yüksek” gibi dilsel değişkenlerle ifade edilir. Günlük konuşma dilinde daha uzun emsalleri ile aynı anlam taşıyan kısa cümleleri sıklıkla kullanırız. Örneğin, “uzun insanlar” demekle aslında “uzun boylular (çok uzun) kategorisine ait insanlar” demek isteriz. Bazen insanların tam boy uzunluklarını bilsek bile (örneğin 190cm) günlük konuşmada bunu yine de

uzun boylu olarak kullanmayı tercih ederiz. Uzunluk kavramı, sayısal (190cm) ve dilsel (çok uzun) olarak iki şekilde ifade edilebilir (Üney, 2017:13).

Gerçek dünyadaki farklı faaliyetlerin birçok yönü niceliksel olarak değerlendirilemeyebilir; bunun yerine niteliksel bir şekilde, yani belirsiz veya kesin olmayan bilgilerle değerlendirilebilir. Böyle bir durumda sayısal değerlendirmeler yerine dilsel değerlendirmelerin kullanılması daha iyi bir yaklaşım olabilir. Bulanık dilsel yaklaşım, dilsel değişkenler aracılığıyla niteliksel yönleri dilsel değerler olarak temsil eder (Herrera ve diğerleri, 2008:354).

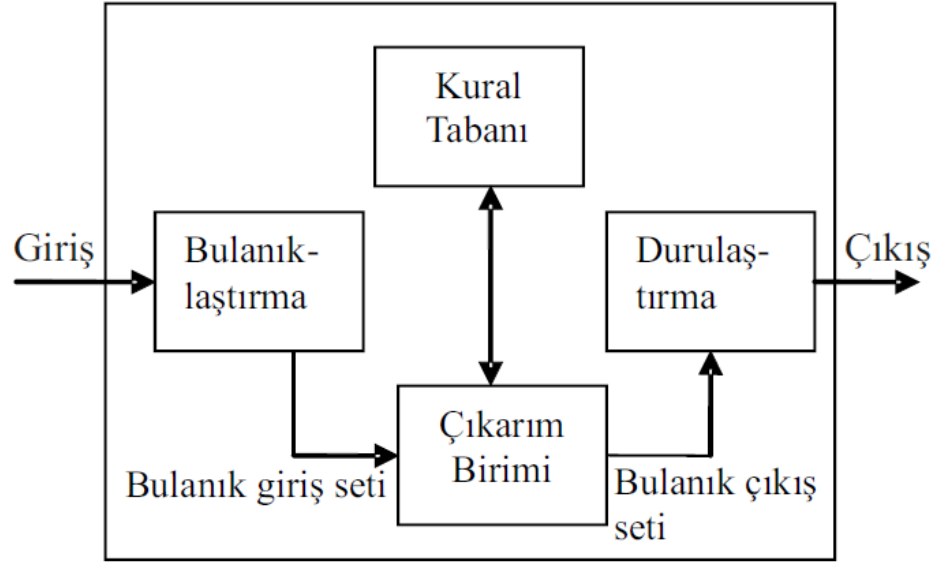
Son zamanlarda birçok risk değerlendirme yaklaşımı sayısal değerler yerine dilsel değerlendirmelerin kullanılmasına dayanmaktadır. Bulanık Kümeler Teorisi kullanılarak veriler, düşük olasılık, ciddi etki veya yüksek risk gibi belirsiz, dilsel terimlerle tanımlanabilir. Bu terimler kesin ve tek bir değerle anlamlı bir şekilde tanımlanamaz ancak Bulanık Kümeler Teorisi, bu terimlerin matematiksel mantıkta tanımlanabileceği araçları sağlar (Nieto-Morote ve diğerleri, 2011:221).

2.4.4. Bulanık Denetim Sistemleri

Bulanıklaştırma işlemi sistemden alınan giriş bilgilerini dilin anlam düzeylerine uygun sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık küme/kümeler ve üyelik derecesi tespit edilerek girilen değerler küçük, en küçük gibi dilsel değişkenler olarak atanır. Model veya kontrolörün giriş ve çıkış değişkenleri belirlenip, değişkenler için ifade kümeleri (az, çok, sıcak, soğuk vb.) seçildikten sonra kural tabanındaki kurallar kullanılarak giriş ve çıkış arasındaki bağlantılar sağlanır (Eğrisüt Tiryaki ve diğerleri, 2007:5).

Bir bulanık kontrol sisteminin temel yapısı kural tabanı, bulanıklaştırma birimi, bulanık çıkarım ve durulaştırma birimi olmak üzere dört kavramsal bileşenden oluşur (Feng, 2006:676). Bu kavramsal bileşenler ve bulanık mantık sisteminin yapısı şekil 22’de gösterilmektedir.

Şekil 22: Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı

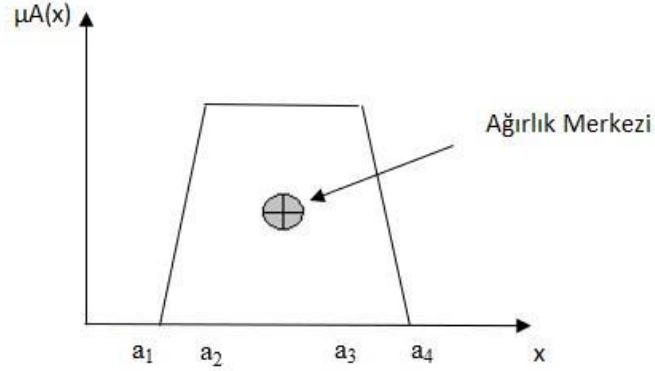


Kaynak: Eğrisüt Tiryaki ve diğerleri, 2007:5

Bilgi tabanı tüm kontrolör bilgisini içerir ve bulanık kontrol kural tabanı ve veri tabanından oluşur. Veri tabanı, nesnelerin tanımını (gerçekler, terimler, kavramlar) ve bulanık kontrol kurallarında kullanılan üyelik fonksiyonlarının tanımını açıklayan bilgi tabanının bildirimsel kısmıdır. Bulanık kontrol kural tabanı, bu nesnelerin yeni kontrol eylemlerinin çıkarımı için nasıl kullanılabileceğine ilişkin bilgileri içeren bilgi tabanının prosedürel kısmıdır. Çıkarım birimi, bulanık kontrol kuralları ve makul kontrol eylemlerinin türetilmesi için verilen koşullar üzerinde çıkarım prosedürünü gerçekleştiren bir akıl yürütme mekanizmasıdır. Bulanık kontrol sisteminin merkezi parçasıdır. Bulanıklaştırma birimi, gerçek değerli bir uzaydan bulanık bir uzaya bir eşleşmeyi tanımlar ve durulaştırma arayüzü ise bir çıktı söylem evreni üzerinde tanımlanan bulanık bir uzaydan gerçek değerli bir uzaya bir eşleşmeyi tanımlar. Bulanıklaştırıcı, kesin bir değeri bulanık bir sayıya dönüştürürken, durulaştırıcı, çıkarılan bulanık sonucu kesin bir değere dönüştürür (Feng, 2006:676).

Durulaştırma işlemlerinde kullanılan farklı yöntemler bulunmakla beraber, hangi yöntemin seçileceği problemin türüne göre araştırmacının karar verdiği bir durumdur (Kılınç, 2008:60). Bu çalışma içerisinde Şekil 23'te verildiği şekilde tanımlanmış olan ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Şekil 23: Ağırlık Merkezi Durulaştırma Yöntemi



Kaynak: Sökükcü, 2021:105

Durulaştırma işlemlerinde en yaygın kullanılan yöntem ağırlık merkezi yöntemidir. Bu yöntem tüm sözel çıkış değerlerine tek bir ortalama ağırlık verilerek meydana getirilen şeklin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması prensibine dayanmaktadır. Bu yönteme ait matematiksel işlem ise aşağıdaki denklem (20) ile gösterildiği gibidir (Kılınç, 2008:62):

$$Z^* = \int u_c(z) \cdot z \, dz / \int u_c(z) \, dz \quad (20)$$

$$Z^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{z-a_1}{a_2-a_1} \right) \cdot z \, dz + \int_{a_2}^{a_3} z \, dz + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-z}{a_4-a_3} \right) \cdot z \, dz}{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{z-a_1}{a_2-a_1} \right) \cdot dz + \int_{a_2}^{a_3} dz + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-z}{a_4-a_3} \right) \cdot dz} = \frac{-a_1a_2 + -a_3a_4 + \frac{1}{3}(a_4-a_3)^2 - \frac{1}{3}(a_2-a_1)^2}{-a_1-a_2+a_3+a_4}$$

2.4.5. Uzmanların Görüşlerinin Birleştirilmesi

Denizcilik sektöründe operasyonel verilere ulaşmak zordur. Veri sorunlarını ele almak için denizcilik uzmanlarının görüşlerinden yararlanılmaktadır (S. M. Lavasani ve diğerleri, 2015:731). Basit Olaylar (BE) olay zincirlerinin başlatılmasında önemli bir rol oynadığından, uzmanlar her bir basit olay hakkında görüşlerini sunar. Denizcilik uzmanlarının yargıları ise uzmanlık, eğitim, idari ve entelektüel uzmanlık vb. farklılıklar nedeniyle farklılık gösterebilmektedir. Buna çeşitlendirilmiş uzman grubu denir. Bu düzeydeki önem derecesi uzmanların yargısını etkiler. Uzmanların

ağırlıklandırma puanları, değerlendirme doğruluğunu artırmak ve araştırmanın sorgulanmasını önlemek için önemlidir. Yukarıdakilerin ışığında, her bir temel olayın olasılığını belirlemek için uzman görüşünden yararlanılır (Temel, 2022:78).

Uzmanların görüşlerinin birleştirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Aqlan ve Ebrahim, (2014) uzman görüşlerini birleştirme aşamasında üçgen bulanık sayıları kullanmışken, Hsu ve Chen (1996) üçgen bulanık sayılar ile yamuk bulanık sayıların birleştirilmesine yönelik bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımlardan uzmanların sözel ifadelerinin birleştirilmesinde faydalanılmaktadır (S. M. Lavasani ve diğerleri, 2015:732). Bu çalışmalarda uzmanların her bir değişkenin olasılıkları hakkında subjektif özellikleri sözel değişkenler aracılığıyla ifade etmeleri sağlanmıştır. Uzmanların öznel değerlendirmelerini ifade etmeleri ve bu değerlendirmelerin modellemesi, bulanık mantık ve bulanık sayılar kullanarak sıkça gerçekleştirilen bir yöntemdir. Özellikle belirsizlik içeren durumları daha etkili bir şekilde ele almak ve insan uzmanların öznel değerlendirmelerini matematiksel bir çerçevede ifade etmek için bu yaklaşım kullanılmaktadır.

Birden fazla uzman görüşünün olduğu böyle durumlarda kullanılmak üzere Hsu ve Chen (1996) tarafından ortaya konan benzerlik birleştirme yöntemi (SAM-Similarity Agreement Method) detayları aşağıdaki gibidir (Hsu & Chen, 1996:282).

- **Uzman çiftinin görüşlerinin benzerlik derecesinin hesaplanması (degree of similarity):** Bir uzmanın fikirleri (U_m) ile diğer uzman (U_n) arasında oluşan benzerlik derecesi için o uzmanların görüşlerinin yamuk üyelik fonksiyonları $U_m = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $U_n = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ olarak tanımlandığında, uzman m'nin uzman n'e benzerlik fonksiyonu aşağıdaki denklem (21) ile ifade edilir. Sonuç 0 ile 1 aralığındadır ve 1'e yaklaştıkça benzerlik artmaktadır.

$$S_{mn} = 1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |a_i - b_i| \quad (21)$$

- **Benzerlik ortalaması (average agreement):** Her bir uzmanın fikirlerinin diğer uzmanlar ile benzerlik ortalaması denklem (21) ile belirlenmektedir.

$$AA_m = \frac{1}{M-1} \sum_{\substack{i=1 \\ n \neq m}}^M S_{mn} \quad (22)$$

• **Göreceli uzlaşma (relative agreement):** Her bir uzman görüşünün diğer uzman görüşlerine göre göreceli uyum derecesinin hesaplanması denklem (22) ile belirlenmektedir.

$$RA_m = \frac{AA_m}{\sum_{k=1}^M AA_k} \quad (23)$$

• **Uzman görüş birliği katsayısının belirlenmesi (consensus coefficient):** Denklem (24)'te β benzerlik yönteminde iyimserlik katsayısını ifade etmektedir ve 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bu ifade uzmanın ağırlık katsayısının göreceli benzerlik üzerindeki önemine karşılık gelmektedir.

$$CC_m = \beta \cdot w_m + (1 - \beta)RA_m \quad (24)$$

Son aşamada uzman görüşleri denklem (25) yardımı ile birleştirilmektedir.

$$E_{AG} = C_1 \times E_1 + C_2 \times E_2 + \dots + C_M \times E_M \quad (25)$$

2.4.6. Birleştirilmiş Uzman Kararının Durulaştırılması (Bulanık Olasılık)

Toplanan denizcilik uzmanlarının görüşlerinin sonraki aşamada durulaştırılması gerekir. Bulanık kümeler altında, üçgen veya yamuk bulanık sayılar denklem (26) kullanılarak sayısal değerlerin atanmasına dönüştürülür. Bu durumda durulaştırma için ağırlık merkezi (COA) yaklaşımı kullanılır (S. M. Lavasani ve diğerleri, 2015:732).

$$X^* = \frac{\int u_i(x)xdx}{\int u_i(x)} \quad (26)$$

Bulanık olasılık X^* ile temsil edilir, entegre üyelik fonksiyonu $u_i(X)$ ile tanımlanır ve sonuç değişkeni X ile temsil edilir.

2.4.7. Hata Olabilirliklerin Hata Olasılıklarına Dönüştürülmesi

Denizcilik uzmanlarının görüşleri durulaştırılmış hata olabilirlikleri, hata olasılıklarına dönüştürmek için kullanılır. Onisawa 1988 yılında bulanık hata olabilirlikleri bulanık hata olasılığına dönüştürmek için bir formül sunmuştur (Onisawa, 1988:88-92). Bulanık olasılık (FPT) oranı, bulanık olasılık düzeylerinden (FP) türetilir. Denklemden tipik bir insan fonksiyonunun hata değeri dikkate alınmakta olup hata oranının alt sınırı 5'tir. Sabit bir miktar olarak belirtilen FPS ve K, bulanık hata oranını (FFR) hesaplamak için kullanılabilir (Temel, 2022:82). Emniyet kriterleri hata frekansının en düşük sınırına bağlıdır ve bir rutinin hata oranları sabit olan K ile temsil edilir. Denklem (27) ve (28) bunu hesaplamak için kullanılmaktadır (Onisawa, 1988:88-92).

$$Pr = \begin{cases} \frac{1}{10^K}, & FP \neq 0 \\ 0, & FPS = 0 \end{cases} \quad (27)$$

$$K = \left(\frac{1-FPS}{FPS} \right)^{\frac{1}{3}} \times 2,301 \quad (28)$$

Literatürde risk temelli yaklaşımlarda niceliksel veya niteliksel risk değerlendirme tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir. Niceliksel risk değerlendirme yöntemi ölçülebilir risk göstergeleri verir (Uflaz ve diğerleri, 2023:2). Bununla birlikte, niceliksel yaklaşımın sonuçlarının kalitesi, denizcilik alanında sınırlı olan verilerin ve kaza geçmişinin mevcudiyetine bağlıdır (Psarros ve diğerleri, 2010:619-620). Denizcilik alanında çeşitli yöntemlerle risk bazlı analize ilişkin önemli miktarda çalışma yayınlanmıştır. Son zamanlarda Hata Ağacı Analizi (FTA) (Sørensen ve diğerleri, 2022; Tunçel ve diğerleri, 2023; Ugurlu ve Cicek, 2022b), Tehlike ve İşlerlik çalışması (HAZOP) (Vidmar ve Perkovič, 2018; Zhan ve diğerleri, 2009), Papyon (Bow-tie) (Arici ve diğerleri, 2020b; Bayazit ve diğerleri, 2023; Kaptan, 2021), Olay Ağacı Analizi (ETA) (Fu ve diğerleri, 2016; Qiao ve diğerleri, 2022), Arıza Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) (Ceylan ve diğerleri, 2023; Wang ve diğerleri, 2023) gibi risk analizi tekniklerinin denizcilik alanında kullanıldığı görülmektedir. Hata ağacı analizi

yöntemi, sistemdeki tepe olay ile tepe olaya neden olan tüm temel olaylar arasındaki iç bağlantıların daha derinlemesine incelenmesine olanak sağladığı gibi, kazaya neden olan koşullar ışığında sistemin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlama avantajına da sahiptir(Töz ve diğerleri, 2022:18).

Denizcilik alanında insan güvenilirliğinin değerlendirilmesi, denizcilik endüstrisi için oluşturulmuş etkili insan hatası olasılığı toplama programlarının bulunmaması nedeniyle zahmetli bir görevdir. Bununla birlikte denizcilik sektörü için insan hatasını ele alan bir takım risk çalışmaları yapılmıştır. Bulanık Başarı Olasılık İndeksi Yöntemi (SLIM), İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (HEART), İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) gibi teknikler yapılan çalışmalarda kullanılmıştır. Bu tür çalışmalar, özellikle veri eksikliğinin olduğu durumlarda deniz operasyonları için insan hatası olasılıklarını makul düzeyde sağlama gücüne sahiptir. Ancak girdilerin göreceli öneminin dikkate alınamaması nedeniyle, her parametrenin ağırlıkları farklı olduğunda bu tür araştırmalardan elde edilen sonuçlar sorgulanabilir. Aynı zamanda bu tür çalışmaların insan hatası değerlendirmeleri ya nükleer santrallerden alınan veri tabanına dayalı olarak yapılmakta ya da insan performansını etkileyen bireysel, teknolojik, bağlamsal ve organizasyonel faktörler dikkate alınmadan yapılmaktadır.(Ung, 2018:17). Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Metodu (CREAM) insan performansını etkileyen bağlamsal ve organizasyonel faktörleri değerlendirmeye, girdilerin göreceli önemi dikkate alınarak girdilerin ağırlıklandırılmasına olanak sunmaktadır.

Yukarıda sayılan sebeplerden yola çıkarak bu çalışmada yöntem olarak Hata Ağacı Analizi (FTA) ve Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Metodu (CREAM) seçilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YOĞUN SUYOLLARINDA GEMİ ÇATIŞMA KAZALARININ RİSK ANALİZİ

Bu bölümde yoğun suyollarında gemi çatışma kazalarının risk analizi yapılmıştır. Bu amaçla çatışma kazalarıyla ilgili öncelikle yazın taraması, kaza raporları ve uzman görüşleri yardımıyla kök nedenler belirlenerek bir hata ağacı oluşturulmuş, sonrasında insan hatasıyla ilgili temel olayların olasılığı Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi kullanılarak analiz edilmiş, diğer temel olayların olasılığı ise bulanık mantık yöntemiyle analiz edilmiştir. Risk değerlendirme süreci Hata Ağacı Analizi (FTA) ile yapılmıştır. Bu kapsamda; araştırmanın konusu, amacı ve modeli, araştırmada kullanılan nitel ve nicel yöntemler, araştırmanın örnekleme, veri toplama aracı, verilerin elde edilme süreci, analizleri ve sonuçları incelenmiştir.

3.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU

Yoğun suyollarının önemli ticari bölgeleri birbirine bağlayan sık kullanılan geçiş yolları olmaları sebebiyle buralarda çok sayıda gemi seyretmektedir. Yoğun gemi trafiği sonucu da gemi kazaları yaşanabilmektedir. Özellikle genelde dar olan bu suyollarında çatışma gibi kaza türlerinin sıklıkla yaşandığı görülmektedir. Çatışma kazasının ciddi sonuçları olabilmektedir. Bu tür kazalar insan hayatına ve çevreye zararlar, ekonomik ciddi kayıplarla sonuçlanabilmektedir. Özellikle çoğunlukla boğaz kanal gibi yerler olan yoğun suyollarında yaşanan kazalar sonucu yaşanan bir kirlilik durumunda deniz kirliliğinin yanısıra yakındaki kıyıya ulaşan kirlilik oradaki canlı yaşamına ve oranın ekonomisine de zarar verebilir. Ayrıca yoğun olan gemi trafiğinden kaynaklı buradaki bir kaza trafiği kilitleyerek ticaretin aksamasına da sebep olabilir. Yoğun suyollarındaki çatışma kazalarına yönelik bir risk analizi gerçekleştirmek burada yaşanabilecek kazaların önlenmesi için katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada öncelikle yoğun suyollarında çatışma kazalarına sebep olabilecek değişkenlerin tespiti gerçekleştirilmiş, daha sonra bu değişkenlerin başka bir deyişle kök nedenlerin olasılıklarının belirlenmesi için uzman görüşleri alınmıştır. Bu kök nedenlerin olasılıklarının Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi

(CREAM) ve bulanık mantık yöntemiyle belirlenmesi, Hata Ağacı Analizi yöntemiyle risk değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

3.2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

Dünyada deniz taşımacılığına artan taleple beraber her geçen gün deniz yoluyla taşınan yük miktarı ve bununla birlikte taşımacılığa dahil olan gemi sayısı artmaktadır. Dünyada özellikle önemli stratejik ticari bölgeleri birbirine bağlayan boğazlar, kanallar vb. su yollarında seyreden gemi sayısı da giderek artmaktadır.

Dünyanın önemli ticari bölgelerini birbirine bağlayan stratejik su yollarında artan gemi sayısı bu su yollarındaki gemi trafiğini de daha yoğun hale getirmektedir. Artan yoğun gemi trafiği ile beraber bu su yollarında gerçekleşen kaza sayıları da artmaktadır. Çoğunlukla dar kanal, boğaz vb. geçişleri ve dar keskin dönüşleri barındıran bu su yollarında çatışma kazaları sıklıkla yaşanmaktadır. Önemli ticari bölgelere ve karalara yakın olan yoğun su yollarında gerçekleşen kazaların çok ciddi sonuçları olabilmektedir. Çevre, insan hayatı ve taşınan yüklerin zarar görmesinin yanında da zaten yoğun olan gemi trafiği de aksayarak daha da yoğun hale gelebilmektedir.

Kazaların ciddi sonuçları göz önünde bulundurulduğunda kazaya yol açan nedenler belirlenerek risklerin azaltılması ve kontrol altına alınması kazaların önlenmesine yardımcı olacaktır. Risklerin azaltılması ve kontrol altına alınması ise risk analiziyle mümkün olabilmektedir.

Çatışma kazaları ve diğer kaza türleriyle ilgili yapılmış akademik çalışmalar bulunmaktadır. Ancak özellikle yoğun su yollarına odaklanarak gerçekleştirilmiş çalışma sayısı oldukça azdır.

Yukarıda sıralanmış olan nedenlerden dolayı bu çalışmada yoğun su yollarındaki çatışma kazalarının risk analizinin yapılması amaçlanmıştır.

3.3. ARAŞTIRMANIN METODOLOJİSİ

Bu bölümde araştırmanın modeli ve süreçleri ele alınmaktadır. Araştırma modeli ve sürecine ilişkin bilgi verilmesinin ardından, araştırmada kullanılan veri

toplama araçları açıklanmıştır. Sonrasında ise görüşlerine başvurulmuş uzmanların seçim süreci ve kullanılan örneklem yöntemleri açıklanmıştır.

3.3.1. Araştırmanın Modeli

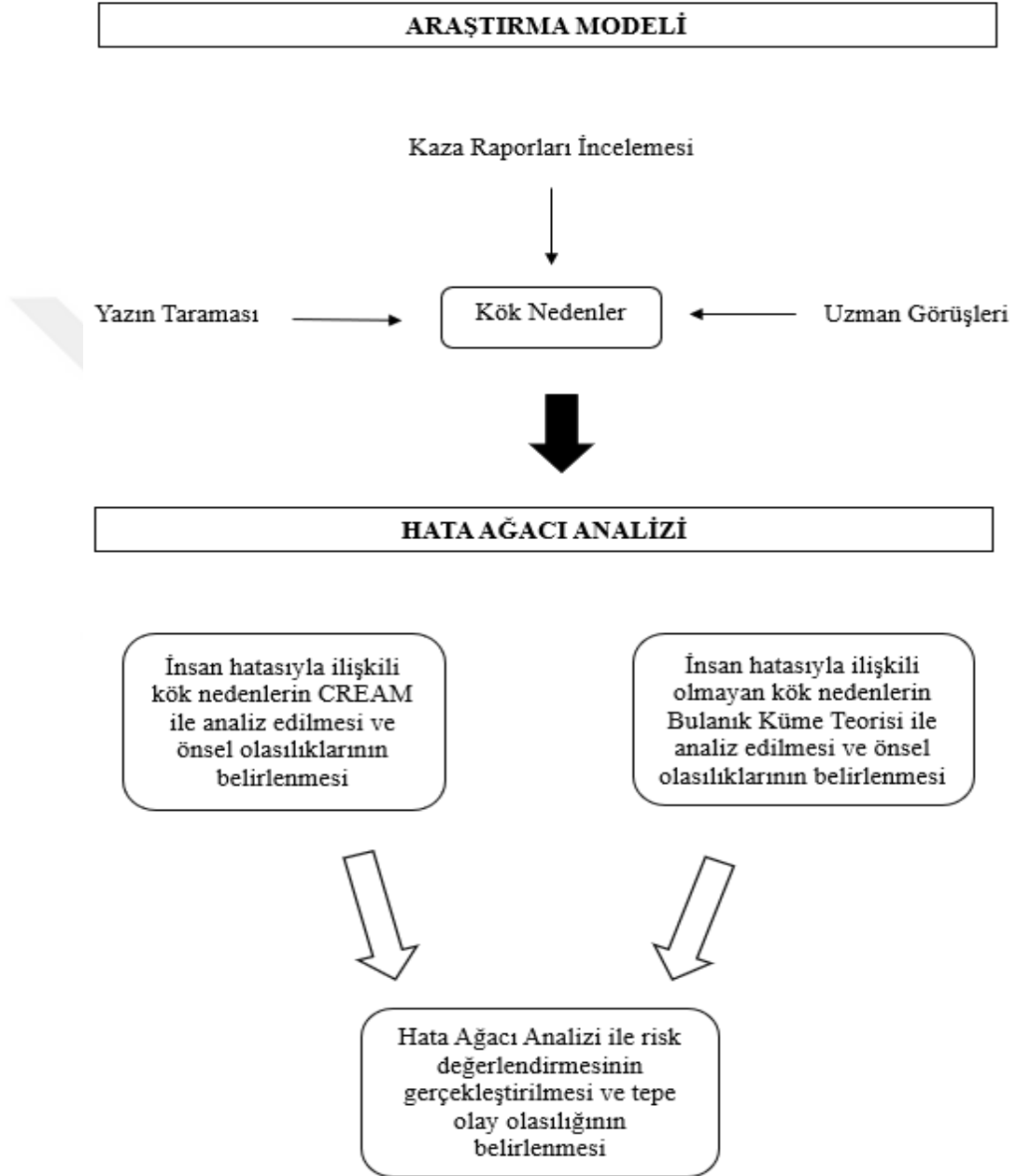
Araştırma modeli nitel ve nicel yöntemler olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Öncelikli olarak nitel yöntem kapsamında kaza raporları ve yazın taramasına ilave olarak uzman görüşleri de toplanarak, yoğun su yollarında çatışma tepe olayına neden olan kök nedenler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kök nedenler ile hata ağacı oluşturulmuş, tepe olaya sebep olan basit ve ara olaylar belirlenerek aralarındaki ilişkiler mantıksal kapılar kullanılarak şematize edilmiştir. Sonrasında tekrar uzman görüşleri alınarak kök nedenlerin önsel olasılıklarının hesaplanma süreci ile beraber araştırmanın nicel sürecine geçiş yapılmıştır. Uzman görüşleri ile elde edilen insan hatasıyla ilişkili olan kök nedenlerin olasılıkları Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi ile ortaya çıkarılmıştır. Diğer kök nedenlerin olasılıkları Bulanık mantık yöntemiyle sözel değişkenler kullanılarak belirlenmiştir. Ardından uzmanların belirlenmiş ağırlık katsayıları dikkate alınarak toplanıp, tek bir ortalama değer elde edilmiştir. Risk değerlendirmesi amacıyla Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi ve Bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar ile hata ağacı analizi yapılarak çatışma tepe olayının olasılığı hesaplanmış ve kök nedenlerin önem sıralaması belirlenmiştir. Şekil 24'te araştırma modelinin şeması görülmektedir.

3.3.2. Araştırmanın Süreci

Araştırmanın nitel analiz sürecinde çalışmada kullanılan nitel araştırma yöntemleri olan yazın taraması, kaza raporlarının incelenmesi ve uzmanlar ile görüşmeler ile araştırmanın probleminin tanımlanması, araştırmanın modelinde kullanılacak değişkenlerin başka bir deyişle kök nedenlerin ortaya çıkarılması ve hata ağacının oluşturulması hedeflenmiştir. Nicel analiz sürecindeyse insan hatasıyla ilişkili basit olayların olasılığı CREAM ile hesaplanırken diğer basit olayların olasılığı ise bulanık mantıkla belirlenmiştir. Sonrasında Hata Ağacı Analizi yöntemiyle tepe olay olan “yoğun su yollarında çatışma kazası”nın olasılığı belirlenmiş ve kök nedenlerin

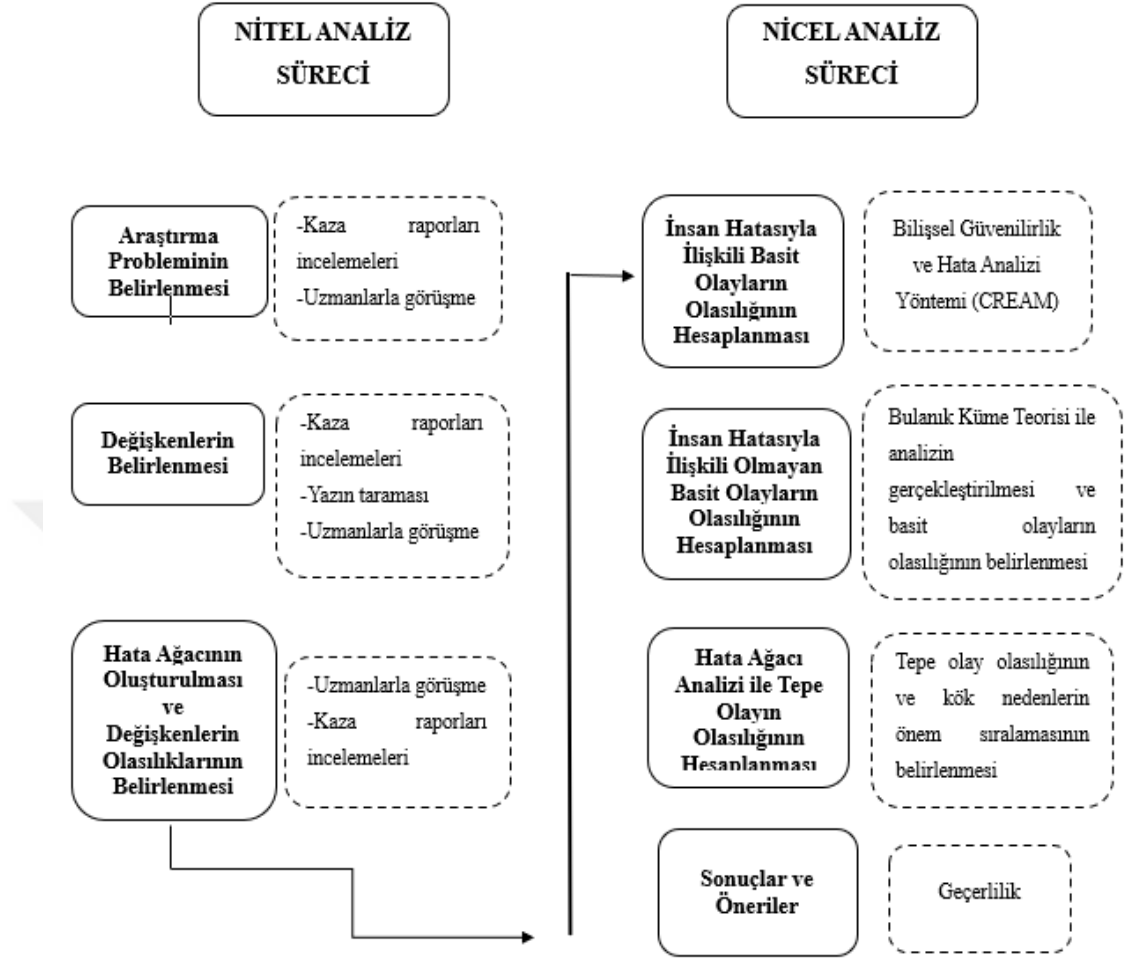
önem sıralaması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinin şeması şekil 25’ görüldüğü gibidir.

Şekil 24: Araştırmanın Modeli



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 25: Araştırmanın Süreçleri



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.3.3. Veri Toplama Aracının Oluşturulması

Araştırmanın modelinde yoğun suyollarında gerçekleşen çatışma kazası raporları ve yoğun suyollarındaki çatışma kazalarına yönelik yazın taraması ile birlikte uzman görüşlerine başvurularak verilerin toplanması amaçlanmıştır.

Çalışmanın nitel sürecinde problemin tanımlanması ve çalışmanın ana konusunun belirlenmesi sonrasında; yoğun suyollarında çatışmaya yol açan kök nedenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Veri toplama aracının oluşturulmasında ilk olarak yoğun suyollarında çatışma kazalarına yönelik yazın taraması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yoğun suyollarında gerçekleşen kaza raporları incelenmiştir. Yoğun suyollarında tecrübesi olan 2 akademisyen ve 4 uygulayıcıya

(kaptan) gösterilmiş ve onlardan gelen geri bildirimlerle son haline getirilmiş görüşme formları Ek 1 ve Ek 2’de verilmiştir. Bu görüşme formları kök nedenlerin olasılıklarını belirlemek üzere uzmanlardan görüş almak için kullanılmıştır.

3.3.4. Uzmanların Seçimi ve Örneklem

Araştırmada kaza kök nedenlerinin belirlenmesi, kök nedenlerinin olasılıklarının belirlenmesi aşaması ile birlikte nihai hata ağacı modelinin oluşturulması aşamasında uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Başvurulan uzmanlara ait görevler ve görüşmelerin yapıldığı tarihler Tablo 13’te verilmiştir. Bu kapsamda çalışmadaki uzmanların belirlenmesinde; uzakyol kaptanı ve uzakyol birinci zabıt olarak görev yaptığı farklı gemiler ile farklı coğrafi bölgelerde yoğun suyollarında seyir gerçekleştirmiş olma kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Uzmanlardan biri uzakyol kaptanı olduğu gibi aynı zamanda güverte enspektörü olarak görev yapmaktadır. Uzman görüşmeleri yüz yüze ve online görüşmeler şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 13: Kök Nedenlerinin Belirlenmesi Aşamasında Görüşülen Uzman Bilgileri

	Adı-Soyadı	Görev	Görüşme Şekli	Görüşme Tarih ve Saatleri
1	Katılımcı 1	Uzakyol Gemi Kaptanı	Yüz yüze	01.10.2023 14:00
2	Katılımcı 2	Uzakyol Gemi Kaptanı	Yüz yüze	10.10.2023 10:30
3	Katılımcı 3	Kılavuz Kaptan	Yüz yüze	15.10.2023 13:45

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Kolayda örnekleme ve kartopu örnekleme yöntemiyle belirlenen uzmanlar, çalışmada sundukları görüşleriyle kök nedenlerin belirlenmesi, nihai hata ağacı yapısının oluşturulması ve çıkarılan kök nedenlerin olasılıklarının ortaya çıkarılmasında önemli rol oynamışlardır. Kolayda örnekleme yönteminde, örnek sayısı ve örnek içinde yer alan elemanlar istatistiksel olarak tesadüfi olmayan yollarla belirlenmektedir (Karamustafa ve Yıldırım, 2007:66). Çalışmada araştırmacının daha önceden vardiya zabiti olarak yoğun suyollarında tecrübeli kaptanlarla çalışmış olması

kolayda örnekleme yöntemi ile gemi kaptanı ve uzakyol vardiya zabiti olarak yoğun suyuollarında tecrübe ve bilgiye sahip uzmanlara ulaşmasını mümkün ve kolay hale getirmiştir.

Bununla birlikte kartopu örneklemesinden de bu çalışmada faydalanılmıştır. Uzmanların tecrübesi açısından ayrıca görüşülmesini önerdikleri konu ile ilgili diğer uzmanlara da kartopu örnekleme yöntemi ile ulaşılmıştır.

3.4. NİTEL MODELİN OLUŞTURULMASI

Araştırmanın nitel modelinin oluşturulması süreci, araştırma probleminin ve değişkenlerinin belirlenmesinden sonra uzman görüşleri de alınarak değişkenler arasındaki ilişkiye göre hata ağacı yapısının oluşturulmasına kadar olan süreçleri kapsamaktadır.

3.4.1. Araştırma Probleminin Belirlenmesi

Deniz taşımacılığı, büyük miktarlarda yükün uluslararası ticaret ve lojistik süreçlerinde taşınmasında etkili ve ekonomik bir seçenektir. Artan küresel ticaret hacmiyle beraber deniz taşımacılığı dünya genelinde artan talebi karşılamak için önemli bir taşıma yöntemi olarak gün geçtikçe gelişmektedir. Deniz taşımacılığının diğer taşıma modlarına kıyasla ton-kilometre başına daha düşük maliyetler sunması, büyük miktarlarda yükün taşınması için ekonomik bir seçenek olması sonucunu doğurmaktadır. Deniz taşımacılığına talep arttıkça gemi boyutları ve gemi sayıları, dolayısıyla gemi trafiği de artmaktadır.

Dünyadaki Singapur, Cebelitarık, İstanbul Boğazı gibi önemli stratejik bölgeleri birbirine bağlayan yoğun suyuolları, gemilerin artan ticari talebi daha hızlı karşılayabilmesi için ciddi avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte yukarıda da belirtildiği üzere gün geçtikçe artan gemi boyutları ve gemi sayıları yoğun suyuollarına yönelik bazı riskler doğurmaktadır. Artan yoğun gemi trafiğiyle beraber dünyanın stratejik yoğun suyuollarında gerçekleşen kaza sayısı da artmaktadır. Çoğunlukla dar kanal, boğaz vb. geçişleri, dar keskin dönüşleri, kaçınılması gereken sık suları olan yoğun suyuollarında çatışma kazaları sıklıkla yaşanmaktadır. Yapılan yazın taraması ve

incelenen raporlar sonucu hem ölümle sonuçlanan hem de yaralanmalarla sonuçlanan öne çıkan kaza türünün çatışma kazası olduğu görülmektedir. Yoğun suyollarında yaşanan kazaların çok ciddi sonuçları olabilmektedir. Bu sonuçlar deniz ekosisteminin yanı sıra yakındaki yerleşimleri de etkileyebilecek çevre kirliliği, insan hayatının kaybı, yaralanmalar, gemi ve yük kaybı, kazalar sonucu zaten yoğun olan gemi trafiğinin daha da sıkışması ya da kapanması şeklinde örneklendirilebilir.

Yukarıda sıralanan sebeplerden dolayı araştırmanın problemi “yoğun suyollarında gemi çatışma kazalarının risk analizi” olarak belirlenmiştir.

3.4.2. Kök Nedenlerin Belirlenmesi

Yoğun suyollarında çatışma kazası nedenleri yazın taraması, kaza raporları içerik analizi ve uzman görüşü aşamaları sonucunda ortaya çıkarılmıştır.

3.4.2.1. Yoğun Suyollarında Çatışma Kazalarına İlişkin Yazın Taraması

Yoğun suyollarındaki çatışma kazalarına yönelik yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Yoğun suyollarında gerçekleşen çatışma kazalarının çok ciddi sonuçları olabilmektedir. Bu kazaların önlenmesi için öncelikle kazanın nedenlerini belirlemek ve bu nedenler göz önünde bulundurularak risk değerlendirmesi yapmak gerekmektedir. Bu nedenleri ortaya çıkarmak için Tablo 14’ te gösterilen 2004 -2022 yılları arasında gerçekleştirilmiş çalışmalar incelenmiştir.

Tablo 14: Yoğun Suyollarında Çatışma Kazalarına Yönelik Çalışmalar

Yazar	Yayın Adı	Yöntem	Bölge	Katkı Çıktı
Yildiz ve diğerleri (2022b)	Spatial and statistical analysis of operational conditions influencing accident formation in narrow waterways: A Case Study of Istanbul Strait and Dover Strait	Simülasyon Modelleme (PROMODEL), Ki-Kare Testi	İstanbul Boğazı, Dover Boğazı	Çalışmada Dover ve İstanbul Boğazı’nın deniz kazası yoğunluk haritası sunulmuştur. Çalışmanın çıktıları, incelenen dar su yollarında bölgesel özelliklerin (yer şekilleri, atmosfer koşulları, deniz koşulları vb.) ve gemi kaynaklı özelliklerin kaza oluşumunu nasıl etkilediğini ortaya

				koymuştur. Dar su yollarında meydana gelen kazalar ile incelenen operasyon koşulları arasında bir ilişki olduğu, geçiş yapan gemilerin her birine özel operasyonel koşullardan (gemi büyüklüğü, gemi tipi, gemi yaşı, transit süresi, VTS Sektörü, trafik yoğunluğu) kaynaklanan risk faktörlerinin belirlenmesi önemli olduğu belirtilmiştir.
Hanafiah ve diğerleri (2022)	A new evaluation approach to control maritime transportation accidents: A study case at the Straits of Malacca	Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), İdeal Çözüm Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS)	Malacca Boğazı	Çalışmada öne çıkan kaza nedenleri yetersiz ekipman, iletişim hatası, yorgunluk, uygun bakım-tutum eksikliği, kompleks gemi sistemleri, denize açılmaya elverişsizlik, eski ve kusurlu gemiler şeklinde belirlenmiştir.
Yildiz ve diğerleri (2022b)	Spatial and Statistical Analysis of Operational Conditions Contributing to Marine Accidents in the Singapore Strait	Uzamsal analiz, Kernel Density Analizi, Ki-Kare bağımsızlık testi	Malacca Boğazı, Singapur Boğazı	Çalışmada kaza raporları incelenmiş ve bu bölgelerde ne yaygın kaza tipinin çatışma olduğu bulunmuştur. Kazaların muson dönemlerinde, gece saatlerinde daha yüksek oranda gerçekleştiği belirtilmiştir. Singapur Boğazı için deniz kzzaları yoğunluk haritası oluşturulmuştur. Boğazın sığ, dar alanları ve TSS çıkışlarının olduğu alanlar riskin en yüksek olduğu yerler olarak belirlenmiştir.
Wang ve diğerleri (2020)	On the Use of the Hybrid Causal Logic Methodology in Ship Collision Risk Assessment	Hibrit Nedensel Mantık (HCL)	Singapur Boğazı	Çalışmada çatışma kazalarının risk analizini gerçekleştirmeye yönelik yeni bir yöntem ortaya konmuştur. Çalışma sırasında incelenen çatışma kaza raporlarında öne çıkan kök nedenler insan hatası ve mekanik arızalar olmuştur.
Bayazit ve diğerleri (2020)	Spatial distribution analysis of ship accidents in the Çanakkale Strait	Mekansal Analiz	Çanakkale Boğazı	Çalışmada 2007 ve 2018 yılları arasında Çanakkale Boğazı'nda gerçekleşen kazalar analiz edilmiştir. Kazalara neden olan ana faktörler seyir hatası, makine arızası ve insan

				hatası olarak belirlenmiştir. Nara dönüş noktası gibi boğazın dar bölümlerinde kazaların daha çok yaşandığı bulunmuştur.
Endrina ve diğerleri (2018b)	Risk analysis for RoPax vessels: A case of study for the Strait of Gibraltar	Formal Emniyet Değerlendirmesi	Cebelitarık Boğazı	Çalışmada Cebelitarık Boğazı'nda 2000-2011 yılları arasında gerçekleşen Ropax gemilerinin çatışma kazalarında kök nedenler; COLREG ihlali, yetersiz gözcülük ve ekipman takibi, sisten kaynaklı kısıtlı görüş, emniyetsiz hız, gemiler arası yetersiz iletişim olarak belirlenmiştir.
Erol ve diğerleri (2018)	Analysis of Ship Accidents in the Istanbul Strait Using Neuro-Fuzzy and Genetically Optimised Fuzzy Classifiers	Yapay Sinir Ağı (ANN)	İstanbul Boğazı	Çalışmada boğazdaki kötü hava koşullarının kaza şiddetini artırdığı, kılavuz kaptansız seyrin, trafik yoğunluğunun ve insan faktörünün kazalarda etkili olduğu belirtilmiştir.
Altan ve Otay (2018b)	Spatial mapping of encounter probability in congested waterways using AIS	Mekansal Analiz	İstanbul Boğazı	Çalışmada moleküler çatışma teorisine dayalı olarak bir çatışma modeli geliştirilmiştir. Model, iki boyutlu su yollarında karşılaşma olasılığını hesaplamak için uzun vadeli AIS verilerini kullanmıştır. İstanbul boğazında çatışma olasılığının en yüksek olduğu alanlar belirlenmiştir.
Essiz ve Dagkiran (2017)	Accidental Risk Analyses of the Istanbul and Canakkale Straits	Risk Analizi	Çanakkale Boğazı, İstanbul Boğazı	Çalışmada Türk Boğazlarında gerçekleşen kazalarda ana faktörlerin ağır hava koşulları, yoğun gemi trafiği, gemilerin teknik eksiklikleri, değişken akıntı rejimi, keskin dönüş alanları, Trafik Ayrım Düzeninin(TSS) ihlali olduğu belirtilmiştir. Kazaların temel nedenlerinden birinin emniyetli takip mesafesine uyulmaması olduğu belirlenmiştir.
Chai ve diğerleri (2017)	Development of a quantitative risk assessment model for ship collisions in fairways	Nicel Risk Analizi, Hata Ağacı Analizi	Singapur Boğazı	Çalışma sonuçları konteyner gemisi, dökme yük gemisi ve petrol tankerinin çatışma kazalarına en çok karışan üç ana gemi türü olduğunu

				göstermektedir. Boğazın yüksek gemi trafik yoğunluğuna sahip olması ve çok derin olmaması nedeniyle yüksek draftlı büyük tanker gemileri için risk oluşturduğu belirtilmiştir. Boğazın gemilerin hızlarını arttırdığı bölümünde daha çok çatışma sıklığı görüldüğü bulunmuştur.
Sotiralis ve diğerleri (2016)	Incorporation of human factors into ship collision risk models focusing on human centred design aspects	Bilişsel Hataların Geriye Dönük ve Tahmine Dayalı Analizi Tekniği'nin (TRACer), Bayes Ağları	Dover Boğazı	Çalışmada yeni bir yöntem geliştirilmiş ve yöntem Dover Boğazı için uygulanmıştır. Hava koşulları, stres seviyesi, görüş, gemideki yorgunluk ve atmosfer, yetersiz eğitim ve deneyim eksikliği gibi insan değerlendirmesi ile performansını doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen önemli faktörler tespit edilmiştir. Ekipmanla ilgili olarak, navigasyon sistemi tespiti ve İnsan-Makine Arayüzü (HMI) sorunları gibi faktörlerin de görevli vardiya zabiti performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.
(Zaman, 2016)	Study on Safety of Navigation Using Automatic Identification System for Marine Traffic area Case Study: Malacca Straits	Risk Analizi	Malacca Boğazı	Çalışmada çatışma olasılığının yüksek olduğu belirtilen Malacca Boğazı'nda insan faktörünün çatışma kazalarına etkisinin yüksek olduğu öne sürülmüştür. AIS verilerine dayalı olarak CPA ve TCPA belirlenerek trafik yönetiminin kurulması önerilmiştir. Aynızamanda AIS verilerinin Malacca Boğazı'ndaki gemi çatışması çalışmalarında navigasyon riskini belirleyerek nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.
Simsir ve diğerleri (2014)	Decision support system for collision avoidance of vessels	Yapay Sinir Ağı (ANN)	İstanbul Boğazı	Dünyanın en dar boğazlarından biri olan İstanbul Boğazı için erken çatışma önleme sistemi geliştirilmiştir.

Zaman ve diğerleri (2014)	Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data	Bulanık Arıza modu ve etki analizi(FMEA),Formal Emniyet Değerlendirmesi	Malacca Boğazı	Çalışmada çatışma kazalarında insan hatası en yüksek risk unsuru olarak bulunmuş,sırasıyla diğer risk unsurları gemiler arasındaki kısa mesafe,seyir hatası, makine ile elektrik donanımında arıza ve kötü hava koşulları olarak belirlenmiştir.
Hasegawa ve Yamazaki (2013)	Qualitative and Quantitative Analysis of Congested Marine Traffic Environment - An Application Using Marine Traffic Simulation System	Deniz Trafîği Simülasyon Sistemi (MTSS)	Singapur Boğazı, Tokyo Körfezi, Shangai açıkları	Çalışmada ramak kala (near-miss) oranının trafik yoğunluğuyla güçlü bir şekilde orantılı olduğu bulunmuştur.
Qu ve diğerleri (2012)	Analyses and Implications of Accidents in Singapore Strait	Bayes Ağları	Singapur Boğazı	Çalışmada kaza veri tabanları incelenerek Boğazda gerçekleşen kazaların yüzde 50'sinden fazlasının çatışma kazaları olduğu bulunmuştur. Artan trafik hacmi nedeniyle çatışmaların sıklığı her geçen yıl arttığı belirtilmiştir. Singapur Boğazı'ndaki seyir sistemlerinin geliştirilerek gemi çatışmalarının azaltılmasına yüksek öncelik verilmesi gerektiği belirtilmiştir.
Weng ve diğerleri (2012)	Vessel Collision Frequency Estimation in the Singapore Strait	Frekans Analizi	Singapur Boğazı	Çalışmada analiz edilen AIS verileri aracılığıyla batıya giden trafiğin doğuya giden trafiğe göre daha riskli olduğu, gece çatışma sıklığının gündüze göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.
Qu ve diğerleri (2011b)	Ship collision risk assessment for the Singapore Strait	Risk Analizi	Singapur Boğazı	Çalışmada AIS verileriyle yaptıkları analizin sonucunda boğazda seyreden gemilerin yüksek hızla seyretmesi ve kurallara uymamasının çatışma riskini arttırdığını belirtmişlerdir.
Debnath ve Chin (2010)	Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurement of Collision Risks in Port Waters	Seyir Trafîği Çatışma Tekniği (NTCT)	Singapur Boğazı	Seyir emniyeti analizine proaktif bir yaklaşımla liman sularındaki çatışma riskine yenilikçi bir niceliksel ölçüm sunulmuştur. Çalışmada Singapur Liman sahasında yapılan risk ölçümleri sonucunda

				gece gece çatışma olasılığının gündüze göre daha fazla olduğu bulunmuştur.
Debnath ve Chin, (2009)	Hierarchical modeling of perceived collision risks in port fairways	Hiyerarşik Sıralı Regresyon (HOPR) Probit	Singapur Boğazı	Demirleme alanlarına yaklaşımlarda, yol hattında keskin dönüşlerin olduğu bölgelerde, yoğun su trafiğinin olduğu bölgelerde ve gece saatlerinde çatışma riskinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.
Ozsoysal ve diğerleri (2006)	Maritime Casualties Through the Bosphorus	Kaza Analizi	İstanbul Boğazı	Çalışmada kaza nedenleri coğrafi koşullar (keskin ve dar dönüşler vb), hava koşulları (sis, şiddetli yağış, kar fırtınası, rüzgar vb.), pilotaj başta olmak üzere insan hataları, teknik yetersizlik, mevcut seyir ve trafik yoğunluğu olarak belirlenmiştir.
Akten (2004)	Analysis of shipping casualties in the Bosphorus	Kaza Analizi	İstanbul Boğazı	Çalışmaya göre İstanbul Boğazı'nda gerçekleşen kazalarda başlıca faktörler yoğun gemi trafiği, pilotsuz seyredem gemiler, akıntıların güçlüve değişken oluşu, keskin dönüşlerin varlığı, gemilerin TSS içinde uygunsuz davranışı ve karanlıktır. İkincil öneme sahip nedensel faktörler ise kıyı arka plan aydınlatması, uykusuzluk ve dikkat kaybı ve bölge hakkında yetersiz bilgi eksikliği olarak belirlenmiştir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yoğun suollarında gerçekleştirilen yazın taraması sonucu ortaya çıkarılan kök nedenler ve çalışmanın gerçekleştirildiği bölgeler Tablo 15'teki gibidir.

Tablo 15: Yazın Taraması Sonucu Ortaya Çıkarılan Kök Nedenler

Bölge	Kök Neden
Singapur Boğazı	Boğazdaki keskin dönüşler
Singapur Boğazı	Gece seyri
Singapur Boğazı	Yüksek hız
Singapur Boğazı	COLREG ihlali
Singapur Boğazı	Yoğun gemi trafiği
Singapur Boğazı	Derinliğin az olması
Singapur Boğazı	İnsan hatası
Singapur Boğazı	Mekanik arızalar
Malacca Boğazı	Gece seyri
Malacca Boğazı	Gemiler arası kısa mesafe
Malacca Boğazı	Seyir hatası
Malacca Boğazı	İnsan hatası
Malacca Boğazı	Makine ve elektrik donanımında arıza
Malacca Boğazı	Kötü hava koşulları
Malacca Boğazı	Yetersiz ekipman
Malacca Boğazı	İletişim hatası
Malacca Boğazı	Yorgunluk
Malacca Boğazı	Uygun bakım tutum eksikliği
Malacca Boğazı	Eski ve kusurlu gemiler
Cebelitarık Boğazı	COLREG ihlali
Cebelitarık Boğazı	Yetersiz gözcülük ve ekipman takibi
Cebelitarık Boğazı	Sisten kaynaklı kısıtlı görüş
Cebelitarık Boğazı	Emniyetsiz hız
Cebelitarık Boğazı	Gemiler arası yetersiz iletişim
Dover Boğazı	Hava koşulları
Dover Boğazı	Stres seviyesi
Dover Boğazı	Kısıtlı görüş
Dover Boğazı	Yorgunluk
Dover Boğazı	Yetersiz eğitim ve deneyim eksikliği
Dover Boğazı	İnsan-Makine Arayüzü (HMI) sorunları
Çanakkale Boğazı	Seyir hatası
Çanakkale Boğazı	Makine arızası
Çanakkale Boğazı	İnsan hatası
Çanakkale Boğazı	Ağır hava koşulları
İstanbul Boğazı	Kılavuz kaptansız seyir
İstanbul Boğazı	Akıntıların güçlü ve değişken oluşu
İstanbul Boğazı	Keskin dönüşler
İstanbul Boğazı	Gemilerin TSS içinde uygunsuz davranışı
İstanbul Boğazı	Kıyı arka plan aydınlatması
İstanbul Boğazı	Uykusuzluk
İstanbul Boğazı	Dikkat kaybı
İstanbul Boğazı	Bölge hakkında yetersiz bilgi
İstanbul Boğazı	Coğrafi koşullar (keskin ve dar dönüşler vb.)
İstanbul Boğazı	Hava şartları(sis, şiddetli yağış, kar fırtınası, rüzgar vb.)
İstanbul Boğazı	İnsan hatası
İstanbul Boğazı	Teknik yetersizlik
İstanbul Boğazı	Kılavuz kaptansız seyir
İstanbul Boğazı	Değişken akıntı rejimi
İstanbul Boğazı	Keskin dönüş alanları,
İstanbul Boğazı	Trafik Ayrım Düzeninin (TSS) ihlali
İstanbul Boğazı	Emniyetli takip mesafesine uyulmaması

Kaynak : Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.4.2.2. Yoğun Suyollarında Gerçekleşen Çatışma Kazası Raporları

Çalışmanın bu aşamasında uluslararası veri tabanlarından elde edilen Singapur, Dover, Malacca, Cebelitarık, İstanbul ve Çanakkale Boğazı gibi dünyanın yoğun suyollarında 1990-2023 yılları arasında gerçekleşmiş çatışma kaza raporları tespit edilerek içerik analizi yapılmıştır. 32 kaza raporu bu çalışmada kullanılmıştır. Tablo 16'da incelenen mevcut kaza raporlarından bazıları ve raporlardan çıkartılan kök nedenler görülmektedir.

Tablo 16: İncelenen Kaza Raporları ve Kök Nedenleri

Rapor No	Raporu Yayınlayan Kurum	Kazanın Gerçekleştiği Yer	Kök Nedenler
1	National Transportation Safety Board (NTSB)	Singapur Boğazı	Durumsal farkındalık eksikliği, Yorgunluk, Yetersiz eğitim, Ekipman Tasarımı, Prosedür eksikliği,
2	The Transport Safety Investigation Bureau (TSIB)	Singapur Boğazı	Yetersiz gözcülük, Yetersiz Köprüüstü Kaynak Yönetimi, Durumsal farkındalık eksikliği, Yetersiz nitelikli ve sertifikasız personel, Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim, Yetersiz köprüüstü ekipmanı, Prosedürlere ve SMS'e uymama, COLREG'e uymama.
3	Maritime and Port Authority of Singapore (MPA)	Singapur Boğazı	Geç kaçınma manevrası, Yanlış manevra kararı, Dümenin ele alınmaması- köprüüstü ekipmanlarının yanlış kullanılması, Gemiler arası yetersiz iletişim.
4	The Transport Safety Investigation Bureau (TSIB)	Singapur Boğazı	Durumsal farkındalık eksikliği, Prosedürlere ve SMS'e uymama, Yetersiz Köprüüstü Kaynak Yönetimi, Gemiler arası yetersiz iletişim, Yetersiz gözcülük, COLREG'e uygun sinyallerin verilmemesi,
5	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	Singapur Boğazı	COLREG'te belirtilen kısıtlı görüş önlemlerinin alınmaması, Yorgunluk, Yanlış manevra yapılması, Vardiya zabitanın gerekli yetkinlikte olmaması, Kaçınma manevrasının geç yapılması, Passage planının süvari tarafından düzgün değerlendirilmemesi,
6	Bahamas Maritime Authority	Singapur Boğazı	Gemiler arası yetersiz iletişim, Dikkat dağınıklığı, Geç kaçınma manevra, VTS'in geç iletişim kurması.
7	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	Cebelitarık Boğazı	COLREG'e uygun aksiyonların alınmaması, Gemiler arası yetersiz iletişim, Elektronik ekipmanlara aşırı güven, Yetersiz gözcülük, Yetersiz Köprüüstü Kaynak Yönetimi, Yetersiz passage plan, AIS ekranının uygun olmayan konumu (Ekipman Tasarımı), Liman otoritelerinin yetersiz iletişimi
8	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	Cebelitarık Boğazı	Emniyetsiz hız, Yetersiz gözcülük, Yetersiz radar kullanımı, COLREG'e uygun kısıtlı görüş işaretlerinin verilmemesi, Süvari üzerindeki ticari baskı, Cebelitarık limanında kalifiye

			personelin görev yaptığı etkili ve bağımsız bir VTS tesisinin bulunmaması, Yanlış manevra kararı, Kılavuz kaptanın gemiden erken ayrılması, Cebelitarık Körfezi'nde trafik ayrımını sağlayacak etkili bir önlemin bulunmaması,
9	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Yorgunluk, Aşırı zihinsel yük, Gemiler arası geç iletişim kurulması, SMCP'ye uygun olmayan VHF konuşması sonucunda gemilerin birbirini yanlış anlaması, Ses sinyali verilmemesi.
10	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı	Kötü hava şartları, Navtex cihazının arızalı olması sonucu hava raporlarını alamama, Kaçınma manevrası için yetersiz zaman olması, Dover Boğazı'nda uygun acil durum römorkörünün bulunmaması, Süvarinin kötü hava şartlarının etkisini hafife alması, Süvarinin demirlemeden kaçınması.
11	Bahamas Maritime Authority	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Dikkat dağınıklığı, aynı anda köprüüstünde başka işlerle ilgilenme, ARPA'nın uygun kullanılmaması, Kaçınma manevrasının geç yapılması, Görevli vardiya zabıtine farklı kaynaklardan aşırı bilgi yüklenmesi, COLREG'e uygun aksiyon alınmaması
12	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	COLREG'e uygun aksiyon alınmaması, Yetersiz gözcülük, Yorgunluk, Kaçınma manevrasının geç yapılması, Radar ekranına vuran güneş ışığı nedeniyle ekranın verimli kullanılmaması.
13	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Yanlış manevra kararı, Durumsal farkındalık eksikliği, Yetersiz gözcülük.
14	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Uygun Kaçınma manevrasının yapılmaması, Vardiya dışında işlerle ilgilenme, Yetersiz gözcülük, Hava koşulları, Radarların uygun şekilde kullanılmaması, Yorgunluk, Uygun sinyallerin kullanılmaması,
15	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Yanlış manevra kararı, COLREG'e uyulmaması, Radardan alınan bilgilerin yanlış yorumlanması, Yetersiz gözcülük, Dikkat dağınıklığı, Radarın düzgün kullanılmaması, Yorgunluk, Uyuyakalma, Vardiya zabıtının süvarinin gece emirlerine uymaması ve süvariye çağırması
16	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Yetersiz gözcülük, ECDIS'teki AIS bilgilerine aşırı güvenme, Radar ekranına bakılmaması, Durumsal farkındalık eksikliği, Yetersiz gözcülük, Yetersiz emniyet kültürü, Aydınlatmaların görüşü engellemesi, Yetersiz ekipman ve talimat,
17	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	Dover Limanı Yakınları	Durumsal farkındalık eksikliği, Kaçınma manevrasının geç yapılması, Yetersiz gözcülük, Dikkat dağınıklığı, Vardiya tesliminin eksik yapılması.

18	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	COLREG'e uygun aksiyon alınmaması, Radarın düzgün kullanılmaması, Geç kaçınma manevrası, Köprüüstünde yetersiz personel sayısı, Yoğun sis, Yetersiz eğitim, Yetersiz gözcülük, Gemide yetersiz personel bulunması, Personel sertifikalarının geçersiz olması, Uygun ses işaretlerinin kullanılmaması,
19	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim, Süvarinin boğazla ilgili gece emirlerini bırakmaması, BNWAS'ın etkin olmaması, ARPA kullanılmaması, AIS verilerinin izlenmemesi, Köprüüstü kaynaklarının yetersiz kullanımı, Yetersiz gözcülük,
20	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Durumsal farkındalık eksikliği, Dikkat dağınıklığı, Yetersiz gözcülük, Çatışmayı önleme prosedürlerinin uygulanmaması
21	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	Emniyetsiz hız, ARPA ve hız göstergelerinin düzgün kullanılmaması, COLREG'e uygun aksiyon alınmaması, Yetersiz talimat, Yanlış manevra kararı, Yetersiz şirket prosedürü,
22	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı, Dover Boğazı	ARPA ve AIS'in etkin kullanılmaması, Durumsal farkındalık eksikliği, Vardiya zabitanın tecrübesiz oluşu, Yetersiz gözcülük, Yetersiz eğitim, Süvarinin gece emirlerine uyulmaması, Ses sinyali kullanılmaması.
23	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	İngiliz Kanalı	Radarın etkin kullanılmaması, Yüksek hız, Yetersiz köprüüstü kaynak yönetimi, Şirket prosedürlerine uyulmaması, ARPA'ya aşırı güvenme, Yorgunluk, Yetersiz zaman, ARPA bilgilerinde hata, Serdümenin olmaması,
24	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	Malacca Boğazı	Yetersiz gözcülük, ARPA alarmlarının kullanılmaması, Yorgunluk
25	Isle of Man Ship Registry	Malacca Boğazı	COLREG'e uygun aksiyon alınmaması, Prosedürlere uyulmaması, Köprüüstü ekip yönetimi zayıflığı, Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim, Yetersiz gözcülük, Dikkat dağınıklığı, Durumsal farkındalık eksikliği, Radarın yetersiz kullanılması, ECDIS'e aşırı güven, Köprüüstü ekipmanlarının hatalı kullanımı
26	Transport Malta Maritime	Malacca Boğazı	Jeneratör arızası, Yanlış manevra kararı
27	Transport Malta Maritime	Çanakkale Boğazı (TSS)	Yetersiz Radar kullanımı, Yetersiz gemiler arası iletişim, Yetersiz gözcülük
28	Transport Malta Maritime	Çanakkale Boğazı	Yetersiz gözcülük, Köprüüstünde yetersiz personel sayısı, Durumsal farkındalık eksikliği, Köprüüstü ekipmanlarının yerleşiminin uygunsuzluğu (ekipman tasarımı), Yetersiz köprüüstü ekipman kullanımı, VTS'in iletişiminin SMCP'ye uygun olmayışı, Kılavuz kaptanın gemiye yönetmeliğe uygun olmayan konumda çıkması, Yetersiz köprüüstü kaynak yönetimi

29	T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı	Çanakkale Boğazı	Yoğun sis, Radarın yetersiz kullanımı, Kısıtlı görüş prosedürlerine uyulmaması, Gemiler arası yetersiz iletişim, Yetersiz gözcülük, COLREG'e uygun emniyetli hız ayarlamasının yapılamaması, Geç kaçınma manevrası, Yetersiz köprüüstü kaynak yönetimi, Uygun ses işaretlerinin kullanılmaması
30	T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı	Çanakkale Boğazı	COLREG'e uygun kaçınma manevrasının yapılmaması, Prosedürlere uyulmaması, Yetersiz gözcülük, Yorgunluk, Radarın yetersiz kullanımı, Uygun ses işaretlerinin kullanılmaması, Yetersiz talim yapılması
31	T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı	İstanbul Boğazı	Yetersiz gözcülük, Köprüüstü ekipmanlarının yetersiz kullanımı, Mevzuata aykırı manevra, Kılavuz kaptan alınmaması, Köprüüstü ekipmanlarının konumu,
32	T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı	İstanbul Boğazı	Trimden kaynaklı pruvada oluşan kör sektör, Yetersiz gözcülük, COLREG'e uygun manevra yapılmaması, COLREG'e uygun emniyetli hızda seyredilmemesi, COLREG'e uygun işaretlerin verilmemesi, Kılavuz kaptan alınmaması, Yetersiz köprüüstü kaynak yönetimi, Elektronik seyir yardımcılarının yetersiz kullanımı, Gemiler arası yetersiz iletişim, SMCP'ye uygun iletişim kurulmaması.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 16' da görüldüğü gibi incelenen kazalarının çoğuna Marine Accident Investigation Branch (MAIB) üzerinden ulaşılmıştır. Ayrıca ülkelerin kaza raporlarından da yararlanılmıştır. Ayrıca tabloda görüldüğü gibi kaza raporlarının çoğunluğu Dover Boğazı'nda gerçekleşen kazalar iken onu Singapur Boğazı izlemektedir.

Ulusal ve uluslararası kaza araştırma ve inceleme kurumlarının kaza raporlarında belirtmiş oldukları kazaların kök neden analizleri sonrasında ortaya çıkarılan değişkenler Tablo 17'da görülmektedir. 1 Ocak 1990 yılından günümüze kadar yoğun su yollarında gerçekleşen çatışma kazalarına ait 32 rapordan kazaya sebep olan 75 değişken belirlenmiştir. Tabloda görüldüğü gibi yoğun su yollarında çatışmaya sebep olan kaza nedenleri insan faktörü, seyir hatası, ekipman hatası ve diğer nedenler olmak üzere dört başlık altında gruplandırılmıştır.

Tablo 17: Kaza Raporlarından Elde Edilen Kök Nedenler

Kaza Raporlarından Elde Edilen Kök Nedenler	İnsan Faktörü	• Yorgunluk • Yetersiz eğitim • Yetersiz gözcülük, • Yetersiz Köprüüstü Kaynak Yönetimi • Yetersiz nitelikli ve sertifikasız personel, • Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim • Prosedürlere ve SMS'e uymama • COLREG'e uymama • Geç kaçınma manevrası • Yanlış manevra kararı • Gemiler arası yetersiz iletişim • COLREG'e uygun sinyallerin verilmemesi • COLREG'te belirtilen kısıtlı görüş önlemlerinin alınmaması • Vardiya zabitanın gerekli yetkinlikte olmaması • Kaçınma manevrasının geç yapılması • Passage planın süvari tarafından düzgün değerlendirilmemesi • Dikkat dağınıklığı • VTS'in geç iletişim kurması • Yetersiz emniyet kültürü	• Yetersiz passage plan • Liman otoritelerinin yetersiz iletişimi • Emniyetsiz hız • Süvari üzerindeki ticari baskı • Kılavuz kaptanın gemiden erken ayrılması • Aşırı zihinsel yük • Gemiler arası geç iletişim • SMCP'ye uygun olmayan VHF konuşması sonucunda gemilerin birbirini yanlış anlaması • Aynı anda köprüüstünde başka işlerle ilgilenme • Görevli vardiya zabitanına farklı kaynaklardan aşırı bilgi yüklemesi • Uyuyakalma • Vardiya zabitanın süvarinin gece emirlerine uymaması ve süvariye çağırılmaması • Vardiya tesliminin eksik yapılması • Köprüüstünde yetersiz personel sayısı • Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim, • Süvarinin boğazla ilgili gece emirlerini bırakmaması • Şirket prosedürlerine uyulmaması
	Seyir Hatası	• Dömenin ele alınmaması • Köprüüstü ekipmanlarının yanlış kullanılması • ARPA'nın uygun kullanılmaması • Yetersiz radar kullanımı • Elektronik ekipmanlara aşırı güven • ECDIS'e aşırı güven, • Radarın düzgün kullanılmaması • BNWAS'ın etkin olmaması,	• ARPA kullanılmaması, • AIS verilerinin izlenmemesi • Köprüüstü kaynaklarının yetersiz kullanımı • ARPA'ya aşırı güvenme • ARPA bilgilerinde hata • Serdümenin olmaması • ARPA alarmlarının kullanılmaması • Radarın etkin kullanılmaması
	Ekipman Hatası	• Ekipman Tasarımı • Yetersiz köprüüstü ekipmanı • AIS ekranının uygun olmayan konumu • Navtex cihazının arızalı olması sonucu hava raporlarını alamama • Boğazda uygun acil durum römorkörünün bulunmaması	• Radar ekranına vuran güneş ışığı nedeniyle ekranın verimli kullanılmaması • Jeneratör arızası • Köprüüstü ekipmanlarının yerleşiminin uygunsuzluğu • Yetersiz ekipman ve talimat
	Diğer	• Prosedür eksikliği • Boğazda trafik ayırımı sağlayacak etkili bir önlemin bulunmaması • Kötü hava şartları • Cebelitank limanında kalifiye personelin görev yaptığı etkili ve bağımsız bir VTS tesisinin bulunmaması • Gemide yetersiz personel bulunması • Personel sertifikalarının geçersiz olması • Yetersiz şirket prosedürü	• Aydınlatmaların görüşü engellemesi • Yetersiz zaman • VTS'in iletişiminin SMCP'ye uygun olmayışı • Kılavuz kaptanın gemiye yönetmeliğe uygun olmayan konumda çıkması • Yoğun sis • Yetersiz talim yapılması • Trimden kaynaklı pruvada oluşan kör sektör

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.4.2.3. Kök Nedenlerin Uzman Görüşleri ile Güncellenmesi

Nitel araştırma süreci çerçevesinde yoğun suyollarında çatışma kazalarına yönelik yazın taraması ve yoğun suyollarında gerçekleşmiş çatışma kazalarının incelenmesi sonucunda belirlenen kök nedenler uzman görüşleri alınarak güncellenmiştir.

Tablo 12’de belirtilen uzmanlara İzmir’de 1-15 Ekim 2023 tarihleri arasında gerçekleştirilen derinlemesine yüz yüze görüşmelerde, yazın taraması ve kaza raporları sonucunda ortaya konulan nedenler ve bunlara katkıda bulunan diğer kaza nedenleri üzerine sorular sorulmuştur.

Uzmanlar ile gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda, yazın taraması ve kaza raporları ile elde edilen kök nedenlere Tablo 18’de verilmiş olan kök nedenler belirlenmiştir. Ardından uzman görüşlerinin yardımıyla nihai 34 kök neden belirlenmiştir. Nihai kök nedenler Tablo 19’da verildiği gibidir.

Tablo 18: Uzman Görüşler ile Kaza Nedenlerinin Güncellenmesi

Uzman Görüşlerinden Elde Edilen Ek Nedenler
Diğer gemi hatası
Kayıp/eksik şamandıra
VTs takip hatası
Şiddetli rüzgar
Yetersiz müzakere (challenge and response)
Dil bariyeri
Kaptan – kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması
Dümen arızası

Kaynak: Uzmanlar ile görüşmeler sonrasında yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.4.2.4. Kök Nedenlerin Tanımlanması

Yazar tarafından uzman görüşlerine de başvurularak; mevcut yazın taraması ve kaza raporları incelenerek ortaya çıkartılmış olan kök nedenler başka bir deyişle basit olaylar, yine uzmanlar ile yapılan görüşmeler de dikkate alınarak aşağıdaki Tablo 19’da belirtildiği şekilde tanımlanmıştır. Tanımlanan kök nedenlere sırası ile E1, E2, ..., E34 numaraları verilmiştir.

Tablo 19: Kök Nedenlerin Tanımlanması

Kök Neden	Kod	Tanımlama
Gözcülük (Kural 5)	E1	Yoğun suyollarında seyrederken COLREG kural 5 ihlalini bir başka ifadeyle yetersiz gözcülüğü tanımlamaktadır.
Emniyetli hız (Kural 6)	E2	Yoğun suyollarında seyrederken COLREG kural 6 ihlalini bir başka ifadeyle çatışma esnasında emniyetli hızda olmamayı tanımlamaktadır.
Çatışmadan Kaçınma manevrası (Kural 8)	E3	Yoğun suyollarında seyrederken COLREG Kural 8 ihlalini bir başka ifadeyle çatışma anında doğru kaçınma manevrasını gerçekleştirmemeyi tanımlamaktadır.
Kısıtlı görüşte verilecek ses sinyalleri (Kural 35)	E4	Yoğun suyollarında seyrederken COLREG Kural 35 ihlalini bir başka ifadeyle kısıtlı görüşte doğru ses sinyallerinin verilmemesini tanımlamaktadır.
SMS'in uygulanmaması	E5	Yoğun suyollarında seyrederken Emniyetli Yönetim Sistemi prosedürlerinin ihlalini, düzgün takip edilmemesini tanımlamaktadır.
Komut tekrar hatası	E6	Yoğun suyollarında seyrederken diğer gemilerle ya da VTS ile iletişimde, haberleşme emir komuta zinciri içerisinde iletilen mesaja karşılık alındı onayı veya karşı cevabın verilmemesi, verilen komutların karşı tarafça tekrarlanmaması durumlarını tanımlamaktadır.
Dil Bariyeri	E7	Yoğun suyollarında seyrederken diğer gemilerle ya da VTS ile iletişimde farklı milliyete mensup olunmasından kaynaklı olarak anlaşmazlık, telaffuzda zorluk yaşanması durumunu tanımlamaktadır.
SMCP'ye uymama	E8	Yoğun suyollarında seyrederken diğer gemilerle ya da VTS ile iletişimde SMCP' ye uygun cümleler kurmama durumunu tanımlamaktadır.
Kaptan- kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması	E9	Yoğun suyollarında seyrederken gemide kılavuz kaptan olduğu durumlarda kaptan-kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması durumunu tanımlamaktadır.
Yetersiz müzakere (Challenge and response)	E10	Yoğun suyollarında seyrederken köprüüstü ekibinin gerçekleştirilen eylemlere dair birbirlerinden farklı görüşlerini paylaşmama ve bunları tartışmama durumunu ifade eder.
Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim	E11	Yoğun suyollarında seyrederken köprüüstü ekibinin arasında çatışmayı önlemeye yönelik yeterli bir iletişimin kurulamaması durumunu ifade etmektedir.
Çatışma önleyici ekipmanların yetersiz kullanımı	E12	Yoğun suyollarında seyrederken köprüüstündeki RADAR gibi çatışma önlemeye yardımcı ekipmanların yetersiz kullanılması durumunu tanımlamaktadır.
Seyir ekipmanlarına aşırı güven	E13	Yoğun suyollarında seyrederken köprüüstündeki ECDIS, AIS, RADAR gibi yardımcı seyir ekipmanlarına aşırı güven sonucu rehavete kapılarak gözle kontrol gibi diğer araçların kullanılmasına gerek görülmeden karar alınması durumunu tanımlamaktadır.
Aşırı zihinsel yük	E14	Görevli vardiya zabitanın/kaptanın seyir hatalarına yol açabilecek aşırı zihinsel yük durumunu tanımlamaktadır.
Yetersiz dinlenme	E15	Görevli vardiya zabitanın/kaptanın seyir hatalarına yol açabilecek şekilde yeterli miktarda dinlenmemiş olması durumunu tanımlamaktadır.
Dikkat dağınıklığı	E16	Görevli vardiya zabitanın/kaptanın seyir hatalarına yol açabilecek şekilde dikkat dağınıklığı yaşaması durumunu tanımlamaktadır.
Yanlış karar verme	E17	Yoğun suyollarında seyrederken çatışma anında görevli vardiya zabitanın/kaptanın eksik ya da hatalı karar vermesi durumunu tanımlamaktadır.

Bilgi eksikliği	E18	Görevli vardiya zabitanın/kaptanın çatışmayı önlemeye yönelik bilgi seviyesinin yeterli olmaması durumunu tanımlamaktadır.
Eğitim eksikliği	E19	Görevli vardiya zabitanın/kaptanın çatışmayı önlemeye yönelik eğitim düzeyinin eksik olması durumunu tanımlamaktadır.
Tecrübe eksikliği	E20	Görevli vardiya zabitanın/kaptanın yoğun suyuollarında çatışmayı önlemeye yönelik tecrübe seviyesinin yeterli olmaması durumunu tanımlamaktadır.
Eksik sefer planı	E21	Seyredilmekte olan yoğun suyuollarına yönelik sefer planının eksik ya da hatalı olması durumunu tanımlamaktadır.
Ana makine arızası	E22	Yoğun suyuollarında seyredirken gemilerden herhangi birisinde yaşanabilecek bir gemi ana makine arızasını tanımlamaktadır.
Dümen arızası	E23	Yoğun suyuollarında seyredirken gemilerden herhangi birisinde yaşanabilecek bir dümen arızasını tanımlamaktadır.
Seyir yardımcıları arızası	E24	Yoğun suyuollarında seyredirken gemilerden herhangi birisinde yaşanabilecek RADAR, AIS gibi seyir yardımcılarında herhangi birinin ya da birden fazlasının arızalanması durumunu tanımlamaktadır.
Şirket prosedürlerinde eksiklik	E25	Yoğun suyuollarında seyreden geminin takip etmesi gereken şirket prosedürlerinde eksiklik olması durumunu tanımlamaktadır.
Sis	E26	Yoğun suyuollarında seyredirken sis olması durumunu tanımlamaktadır.
Şiddetli akıntı	E27	Yoğun suyuollarında seyredirken akıntının durumunu tanımlamaktadır.
Şiddetli rüzgar	E28	Yoğun suyuollarında seyredirken rüzgar durumunu tanımlamaktadır.
Arka plan ışıkları/objeleri	E29	Yoğun suyuollarında seyredirken yanılsamaya yol açan arka plan ışıklarını ve objelerini tanımlamaktadır.
Gece seyri	E30	Yoğun suyuollarında seyredirken günün vaktinin gece olması durumunu tanımlamaktadır.
Kayıp/eksik şamandıra	E31	Şamandıralama sisteminin doğru yapılmaması ya da şamandıraların yerinin değişmiş olması durumunu tanımlamaktadır.
Diğer gemi hatası	E32	Yoğun suyuollarında seyredirken çatışan iki gemi dışındaki çatışmaya sebep olan diğer gemilerin hatasını tanımlamaktadır.
Yetersiz VTS yönetimi	E33	VTS'in olduğu yoğun suyuollarında VTS'in gemileri yönlendirirken yaptığı hataları tanımlamaktadır.
VTS takip hatası	E34	VTS'in olduğu yoğun suyuollarında VTS'in trafikteki gemileri takip ederken yaptığı hataları tanımlamaktadır.

Kaynak: Yazar tarafından derlenmiştir.

3.4.2.5. Hata Ağacı Yapısının Oluşturulması

Hata ağacı yapısının oluşturulması sürecinde, kök nedenlerin gruplandırma işlemi yazar tarafından uzman görüşleri de alınarak gerçekleştirilmiştir.

Araştırma konusu olan yoğun suyuollarında çatışma kazalarında risk analizine uygun olarak istenmeyen olay yani tepe olay “yoğun suyuollarında çatışma kazası” olarak belirlenmiştir. Bu tepe olay daha sonra emniyetsiz davranışlar ve emniyetsiz

koşullar olmak üzere iki ana başlığa ayrılmıştır. Bu iki olay tepe olaya “VEYA kapıları” ile bağlanmıştır. 34 adet kök neden bu olaylar içerisinde yine ara olaylar ile gruplandırılarak ve hata ağacı analizlerinin mantık kapıları da kullanılarak model ortaya çıkartılmıştır. Modelde olaylar arasındaki bağlantıların tümünde “VEYA kapısı” kullanılmıştır. 34 kök nedenden 21 tanesi emniyetsiz eylemler, 13 tanesi emniyetsiz koşullar ana olayları altında gruplandırılmıştır. Kök nedenlerin isimlendirilmesi ve sınıflandırılmasında DNVGL deniz kazalarının nedenlerinin araştırılmasında kullanılan tekniklerden faydalanılmıştır (Marine Systematic Cause Analysis Technique-M-SCAT).

Emniyetsiz davranışlar ana başlığı kendi içerisinde prosedürlere uyulmaması, zayıf iletişim, seyir hataları olmak üzere 3 ayrı ara olaya bölünmüştür.

Prosedürlere uyulmaması; COLREG ihlali ara olayı ve SMS’in uygulanmaması basit olayına ayrılmıştır. Gözcülük (kural 5), emniyetli hız (kural 6), çatışmadan kaçınma manevrası (kural 8), kısıtlı görüşte verilecek ses sinyalleri (kural 35) kök nedenlerine basit olay olarak COLREG ihlali altında yer verilmiştir.

Zayıf iletişim; gemiler/VTS arasında iletişim hataları ve BRM eksikliği olmak üzere iki ara olaya ayrılmıştır. Gemiler/VTS arasında iletişim hataları ara olayı altında komut tekrar hatası, dil bariyeri, SMCP'ye uymama kök nedenleri basit olay olarak yer almıştır. BRM eksikliği ara olayı altında ise kaptan- kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması, yetersiz müzakere (challenge and response), köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim kök nedenleri basit olay olarak yer almıştır.

Seyir hataları; eksik sefer planı basit olayına ek olarak seyir araçlarının yanlış kullanımı, eksik yetkinlik şeklinde iki ara olaya ayrılmıştır. Seyir araçlarının yanlış kullanımı ara olayı altında çatışma önleyici ekipmanların yetersiz kullanımı ve seyir ekipmanlarına aşırı güven kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır. Eksik yetkinlik ara olayı teknik olmayan beceriler ve teknik beceriler olmak üzere iki ara olaya ayrılmıştır. Teknik olmayan beceriler ara olayı; durumsal farkındalık eksikliği ara olayı ve yanlış karar verme basit olaylarına ayrılmıştır. Durumsal farkındalık eksikliği ara olayı; yorgunluk ara olayı ve dikkat dağınıklığı basit olayına ayrılmıştır. Aşırın zihinsel yük ve yetersiz dinlenme kök nedenlerine basit olay olarak yorgunluk ara olayı altında yer verilmiştir. Teknik beceriler ara olayı altında ise bilgi eksikliği, eğitim eksikliği, tecrübe eksikliği kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır.

Emniyetsiz koşullar başlığı altında şirket prosedürlerinde eksiklik kök nedeni basit olay olarak; ekipman hatası, olumsuz koşullar, üçüncü taraf hatası ara olay olarak gruplandırılmıştır.

Ekipman hatası ara olayı altında ana makine arızası, dümen arızası ve seyir yardımcıları arızası kök nedenleri basit olay olarak yer almıştır.

Olumsuz koşullar ara olayı; kötü hava şartları ve çevresel kısıtlamalar olmak üzere iki ara olaya ayrılmıştır. Sis, şiddetli akıntı, şiddetli rüzgar kök nedenlerine basit olay olarak kötü hava şartları ara olayı altında yer verilmiştir. Çevresel kısıtlamalar ara olayı altında ise arka plan ışıkları/objeleri ve gece seyri kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır.

Üçüncü taraf hatası ara olayı altında kayıp/eksik şamandıra ve diğer gemi hatası basit olaylarına ek olarak VTS hataları ara olayı yer almıştır. Yetersiz VTS yönetimi ve VTS takip hatası kök nedenleri basit olay olarak VTS hataları ara olayı altında gruplandırılmıştır. Şekil 26, 27 ve 28’de hata ağacı ağ yapısı görülmektedir.

3.5. NİCEL MODELİN OLUŞTURULMASI

Hata ağacı yapısı oluşturulduktan sonra, insan hatasıyla ilgili olmayan kök nedenlerin olasılıksal değerleri uzman görüşleri alınarak bulanık küme teorisi vasıtasıyla sözel değişkenler kullanılarak sayısal veriler şeklinde tespit edilmeye çalışılmıştır. İnsan hatasıyla ilgili kök nedenlerin olasılıksal değerleri ise uzman görüşleri alınarak Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi (CREAM) vasıtasıyla sayısal veriler şeklinde belirlenmeye çalışılmıştır. Sayısal veriler elde edildikten sonra hata ağacı analizi yapılarak tepe olayın olasılıksal değeri tespit edilmiştir.

3.5.1. Kök Nedenlerin Hata Olasılıklarının Hesaplanması Süreci

Yoğun suyollarında gerçekleşen çatışma kazası raporları, yoğun suyollarında çatışma kazasıyla ilişkili yazın taraması ve uzman görüşü yardımıyla oluşturulan kök nedenlerin olasılıklarını hesaplamak için uzman görüşüne başvurulmuştur. Uzman seçimi ve süreci 3.bölüm de “3.3.4 Uzmanların Seçimi ve Örneklem” başlığı altında

belirtilmiş aşamalara göre gerçekleştirilmiştir. Seçilmiş olan uzmanlara ait bilgiler ve görüşme tarihleri Tablo 20’de sunulmaktadır.

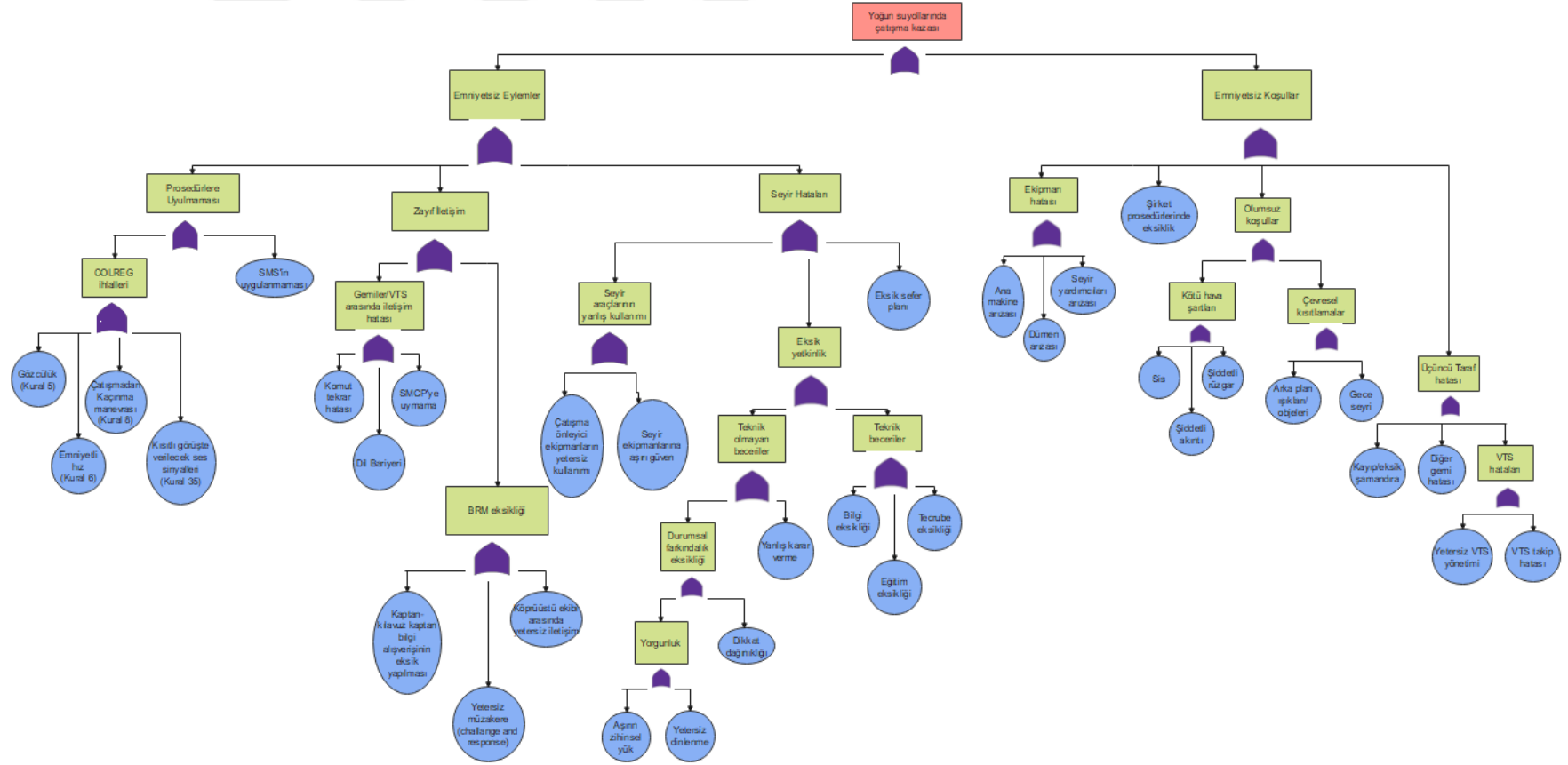
Tablo 20: Kök Nedenlerin Olasılıklarının Belirlenmesi Sırasında Görüşülen Uzman Bilgileri

	Adı-Soyadı	Görev	Görüşme Şekli	Görüşme Tarihleri ve Saatleri
1	Katılımcı 1	Uzakyol Birinci Zabit	Çevrimiçi	20.10.2023 10:00
2	Katılımcı 2	Uzakyol Gemi Kaptanı, Güverte Enspektörü	Çevrimiçi	21.10.2023 13:30
3	Katılımcı 3	Uzakyol Gemi Kaptanı, Akademisyen	Çevrimiçi	22.10.2023 10:30
4	Katılımcı 4	Kılavuz Kaptan	Yüz yüze	24.10.2023 14:00
5	Katılımcı 4	Uzakyol Gemi Kaptanı	Yüz yüze	25.10.2023 14:30
6	Katılımcı 4	Uzakyol Gemi Kaptanı, Akademisyen	Yüz yüze	26.10.2023 13:45

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

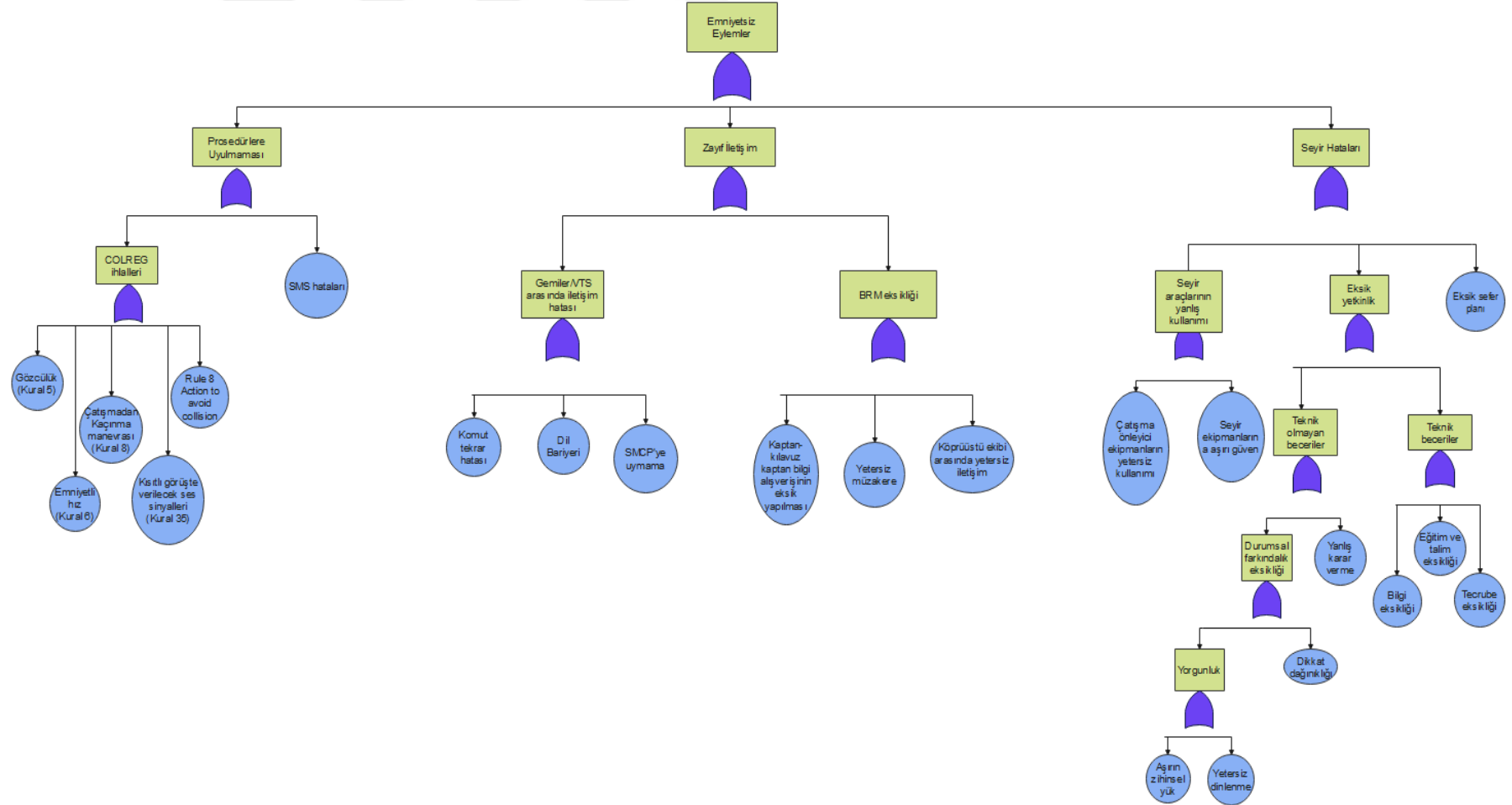
Uzmanların görüşlerini ifade ederken birbirlerinin yorumlarından etkilenmemeleri adına görüşmeler farklı zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiştir. Uzmanların çalışma yerleri sebebiyle bazı görüşmeler online bazıları yüz yüze gerçekleştirilmiştir. Her bir görüşme 30 dakikalık seanslar sonrasında ara verilmesi ile birlikte toplamda yaklaşık 2-3 saat sürmüştür. Görüşmelerin başında her bir uzmana çalışmanın amacı, model oluşturma süreci ile hata ağacı yapısının oluşturulması ve Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemi (CREAM) üzerine kısa bilgilendirme yapılmıştır. Kök nedenler ile ilgili olasılık değerlendirmelerine yönelik sorular sorulmadan önce her bir kök neden üzerine bilgilendirme ve kök nedenlerin belirlenme geçmişi hakkında da bilgilendirme yapılmıştır.

Şekil 26:Hata Ağacı Yapısı



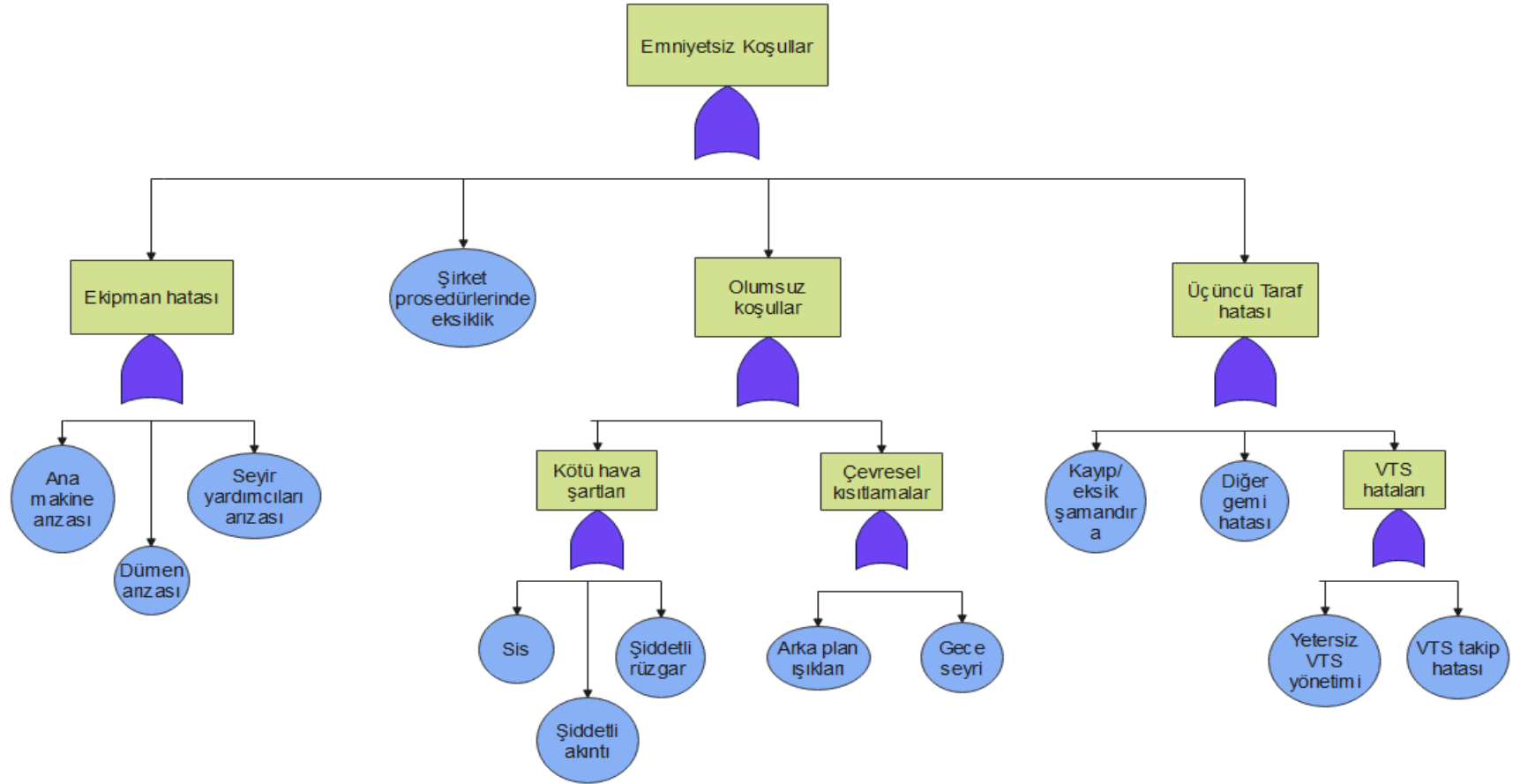
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 27: Hata Ağacı Yapısı Emniyetsiz Eylemler



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 28 : Hata Ağacı Yapısı Emniyetsiz Koşullar



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.1.1. İnsan Hatasıyla İlişkili Kök Neden Olasılıklarının Uzman Görüşüyle Elde Edilmesi

Uzman görüşlerine başvurulmadan önce yazar tarafından her bir kök nedene ait olasılığın belirlenmesi sırasında uzman tarafından yanıtlanması amacıyla iki akademisyen bir uzakyol gemi kaptanının görüşlerinin yardımıyla sorular hazırlanmıştır. İnsan hatasıyla ilgili kök nedenlere yönelik sorular Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemindeki (CREAM) ortak performans koşullarının belirlenmesine uygun hazırlanmıştır. Akyuz ve diğerlerinin 2015 yılında çalışmalarında yapmış olduğu gibi uzmanlara sorularak elde edilen CPC seviyelerinin geometrik ortalaması alınmıştır(Akyuz ve Celik, 2015:45). İnsan hatasıyla alakalı olmayan kök nedenlere yönelik sorular ise bulanık mantık teorisine uygun olarak belirlenmiştir. Shan ve diğerlerinin çalışmalarında gerçekleştirdikleri gibi değişkenlerin olasılıkları belirlenirken her bir uzmanın nitelikleri ve ilgili tecrübeleri farklı olduğu için uzman ağırlık katsayıları belirlenerek, her bir uzmanın etkisi ölçüsünde değişkenlerin olasılıkları hesaplanmıştır(Shan ve diğerleri, 2017:5).

3.5.1.2. Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) Uygulaması

Yoğun su yollarındaki çatışma kazalarına yönelik oluşturulan hata ağacındaki insan hatalarıyla alakalı basit olayların güvenilirlik analizi, başlangıçta dokuz ortak performans koşulu (CPC) seviyesinin tanımlanmasına dayanan Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yönteminin (CREAM) temel versiyonuna dayalı olarak gerçekleştirilir. Bu bağlamda yoğun su yollarındaki çatışma kazalarında insan hatasıyla alakalı 21 basit olaya ilişkin CPC seviyelerini elde etmek amacıyla önceki bölümde özellikleri verilmiş olan 6 uzmana CPC soruları sorulmuştur. Uzmanlara sorulmak üzere oluşturulan sorular ek-1’de sunulmuştur. Tüm sonuçların geometrik ortalaması alınarak sonuç tek bir CPC seviyesine düşürülmüştür. Tablo 21, yoğun su yollarındaki çatışma kazalarına yönelik geliştirilen hata ağacının insan hatasıyla alakalı basit olaylar üzerine seçilen uzmanlar tarafından gerçekleştirilen CPC değerlendirmesinin

tanımlayıcılarını göstermektedir. Belirlenen CPC seviyelerinin performans güvenilirliği üzerindeki etkisi ise Tablo 22’de verildiği gibidir.

Denklem (9)’a göre basit olayların bağlam etki indeksleri (CII) şu şekildedir :E1 için CII= -1, E2 için CII=0, E3 için CII = -2, E4 için CII= -3, E5 için CII= -1, E6 için CII= -2, E7 için CII= -4, E8 için CII= -4, E9 için CII=0, E10 için CII= -1, E11 için CII= -3, E12 için CII= -1, E13 için CII=1, E14 için CII=2, E15 için CII=0, E16 için CII=0, E17 için CII= -1, E18 için CII= -2, E19 için CII= 0, E20 için CII=0, E21 için CII=0. Şekil 17’ye göre E1,E2, E3, E4, E5, E6 , E9, E10, E11, E12, E13, E15, E16, E17, E18, E19,E20 ve E21’in kontrol modu taktiksel iken E7 ve E8’in kontrol modu stratejik; E14’ün kontrol modu fırsatçı kontrol modudur. E7 ve E8 basit olaylarının stratejik kontrol modunda olması personelin diğer basit olaylara göre ve kontrol modlarına göre daha iyi ve verimli performans gösterdiği anlamına gelmektedir. E7 ve E8 basit olaylarının gerçekleşme olasılığı Tablo 7’ye göre 0.5E-5 ile 1.0E-2 aralığındadır. E1, E2, E3, E4, E5, E6, E9, E10, E11, E12, E13, E15, E16, E17, E18, E19, E20 ve E21 basit olaylarının taktiksel kontrol modunda olması mürettebatın performans güvenilirliğinin yeterli olduğu ve genellikle planlanan prosedürleri takip ettiği, ancak bazı zamansal sapmaların hala mümkün olduğu anlamına gelmektedir. Bu basit olaylarının gerçekleşme olasılığı Tablo 7’ye göre 1.0E-3 ile 1.0E-1 aralığındadır. E14 basit olayının fırsatçı kontrol modunda olması ise eylemlerin genellikle bağlamın öne çıkan özellikleri tarafından şekillendirildiği ve planlamanın eksik olduğu anlamına gelmektedir, tablo 7’ye göre bu basit olayların gerçekleşme olasılığı 1.0E-2 ile 0.5E-0 aralığındadır. E14 basit olayı aşırı zihinsel yük kök nedenine karşılık gelmektedir. CREAM’in temel versiyonuna göre gerçekleşme olasılığı en yüksek olan kök neden aşırı zihinsel yük olmuştur. Daha ayrıntılı güvenilirlik analizi için CREAM’in genişletilmiş versiyonuyla devam edilmelidir.

Tablo 21: Ortak Performans Koşulu (CPC) Değerlendirmesinin Tanımlayıcıları

Ortak Performans Koşulu CPC	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Organizasyonun Yeterliliği	VL	VL	ÇV	ÇV	VL	VL	ÇVL	ÇVL	VL	ÇVL
Çalışma şartları	UL	UL	A	A	UL	A	A	A	UL	A
İnsan Makine arayüzünün Yeterliliği ve operasyonel destek	TE	TE	TE	D	TE	TE	D	D	YL	YL
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti	KE	KE	U	KE	U	U	KE	KE	KE	KE
Eşzamanlı hedef sayısı	EMK	KF	KF	EMK	EMK	EMK	KA	EMK	EMK	EMK
Kullanılabilir zaman	YL	YL	GOY	YL	GOY	GOY	YL	YL	GOY	GOY
Günün saati (sirkadiyen ritim)	GE	GE	GÜ	GE	GÜ	GÜ	GÜ	GÜ	GÜ	GÜ
Eğitim ve deneyimin Yeterliliği	YYT	YST	YST	YST	YST	YST	YST	YST	YST	YST
Ekibin işbirliği kalitesi	VZ	VZ	YZ	VZ	VZ	VZ	VZ	VZ	VZ	YZ

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 22: Performans Güvenilirliği Üzerinde Beklenen Etki

Ortak Performans Koşulu (CPC)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21
Organizasyonun yeterliliği	ÖEO	ÖEO	G	G	ÖEO	ÖEO	G	G	ÖEO	G	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	G	G	G	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO
Çalışma şartları	ÖEO	ÖEO	G	G	ÖEO	G	G	G	ÖEO	G	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	G	G	G	G	ÖEO	ÖEO
İnsan Makine arayüzünün yeterliliği ve operasyonel destek	ÖEO	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	ÖEO	G	G	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	G	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO
Eşzamanlı hedef sayısı	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	A	A	A	A	A	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO
Kullanılabilir zaman	G	G	ÖEO	G	ÖEO	ÖEO	G	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	ÖEO	A	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	G	ÖEO
Günün saati (sirkadiyen ritim)	A	A	ÖEO	A	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	A	A	A	A	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO
Eğitim ve deneyimin yeterliliği	G	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	G	ÖEO	ÖEO	A	A	A	ÖEO
Ekibin işbirliği kalitesi	ÖEO	ÖEO	A	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	A	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO	ÖEO

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.1.3. Genişletilmiş Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemi (CREAM) Uygulaması

Daha ayrıntılı güvenilirlik analizi için CREAM'in genişletilmiş versiyonu kullanılır. Öncelikle her bir basit olay için performans etki indeksinin (PII) hesaplanır. Temel versiyonda belirlenen ortak performans koşullarından (CPC) yola çıkarak belirlenen basit olayların performans etki indeksleri (PII) Tablo 24'te verilmiştir.

Denklem 15 ile her bir basit olayın bağlam etki indeksleri (CII) ise Tablo 23'teki gibidir.

Tablo 23: Basit Olayların CII Değerleri

$CII_{E1} = \sum_{i=1}^9 PII = -1,8$	$CII_{E8} = \sum_{i=1}^9 PII = -4,2$	$CII_{E15} = \sum_{i=1}^9 PII = 1,4$
$CII_{E2} = \sum_{i=1}^9 PII = 0,8$	$CII_{E9} = \sum_{i=1}^9 PII = 1$	$CII_{E16} = \sum_{i=1}^9 PII = 2$
$CII_{E3} = \sum_{i=1}^9 PII = 1,2$	$CII_{E10} = \sum_{i=1}^9 PII = 0,8$	$CII_{E17} = \sum_{i=1}^9 PII = 0,8$
$CII_{E4} = \sum_{i=1}^9 PII = -2,8$	$CII_{E11} = \sum_{i=1}^9 PII = -1$	$CII_{E18} = \sum_{i=1}^9 PII = -0,4$
$CII_{E5} = \sum_{i=1}^9 PII = 0,2$	$CII_{E12} = \sum_{i=1}^9 PII = -1$	$CII_{E19} = \sum_{i=1}^9 PII = -0,2$
$CII_{E6} = \sum_{i=1}^9 PII = -0,4$	$CII_{E13} = \sum_{i=1}^9 PII = 2,6$	$CII_{E20} = \sum_{i=1}^9 PII = 0,4$
$CII_{E7} = \sum_{i=1}^9 PII = -3,4$	$CII_{E14} = \sum_{i=1}^9 PII = 1,8$	$CII_{E21} = \sum_{i=1}^9 PII = 1$

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 24: Basit Olayların Ortak Performans Koşulları (CPC) için PII değerleri

	PII değerleri																				
Ortak Performans Koşulu (CPC)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21
Organizasyonun yeterliliği	0	0	-0,6	-0,6	0	0	-0,6	-0,6	0	-0,6	-0,6	0	0	0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0	0	0
Çalışma şartları	0	0	-0,6	-0,6	0	-0,6	-0,6	-0,6	0	-0,6	-0,6	0	0	0	0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0	0
İnsan Makine arayüzünün yeterliliği ve operasyonel destek	0	0	0	-1,2	0	0	-1,2	-1,2	-0,4	-0,4	-1,2	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,4	-0,4
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti	0	0	-1,2	0	-1,2	-1,2	0	-0,4	0	0	0	0	0	0	-1,2	0	-1,2	0	0	0	0
Eşzamanlı hedef sayısı	0	1,2	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0	0	0	0
Kullanılabilir zaman	-1,4	-1,4	1	-1,4	1	1	-1,4	-1,4	1	1	1	-1,4	1	1	2,4	1	1	-1,4	-1,4	-1,4	1
Günün saati (sirkadiyen ritim)	0,6	0,6	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0	0
Eğitim ve deneyimin yeterliliği	-1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,4	-1,4	0	0	1,8	1,8	1,8	0
Ekibin işbirliği kalitesi	0,4	0,4	1,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0	0,4	1,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Her bir basit olay için CII değerleri elde edildikten sonra bilişsel başarısızlık olasılığı (CFP) hesaplanır. Başlangıçta hata ağacı oluşturulurken kök nedenler olarak belirlendiği için bu basit olayların gerçekleşme olasılığı bilişsel başarısızlık olasılığı elde ederek belirlenmiş olacaktır. Bunu hesaplamak için Denklem (15) kullanılır:

$$CFP_{E1} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,45}$$

$$CFP_{E2} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,2}$$

$$CFP_{E3} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,3}$$

$$CFP_{E4} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,7}$$

$$CFP_{E5} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,05}$$

$$CFP_{E6} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,1}$$

$$CFP_{E7} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,85}$$

$$CFP_{E8} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-1,05}$$

$$CFP_{E9} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,25}$$

$$CFP_{E10} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,2}$$

$$CFP_{E11} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,25}$$

$$CFP_{E12} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,25}$$

$$CFP_{E13} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,65}$$

$$CFP_{E14} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,45}$$

$$CFP_{E15} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,35}$$

$$CFP_{E16} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,5}$$

$$CFP_{E17} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,2}$$

$$CFP_{E18} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,1}$$

$$CFP_{E19} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{-0,05}$$

$$CFP_{E20} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,1}$$

$$CFP_{E21} = CFP_0 \times 10^{0,25 \text{ CII}} = CFP_0 \times 10^{0,25}$$

Her bir basit olay için genişletilmiş versiyona dayalı güvenilirlik analizi, bilişsel aktiviteyi, bilişsel işlevi, genel başarısızlık türünü, temel bilişsel başarısızlık olasılığını ve nihai bilişsel başarısızlık olasılığı sonucu aşağıdaki Tablo 25'te gösterilmektedir. Genel arıza tipi, uzmanların görüşlerine dayanarak belirlenmiştir ve Denklem 16 ile nihai bilişsel başarısızlık olasılığı başka bir deyişle insan hatası olasılığı hesaplanmıştır.

Tablo 25: Genişletilmiş CREAM’e Dayalı Güvenilirlik Analizi

No	Basit Olaylar	Bilişsel Aktivite	Bilişsel Fonksiyon	Genel başarsızlık tipi	Temel CFP (CFP0)	Nihai CFP
E1	Gözcülük (Kural 5)	Gözlem	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0035
E2	Emniyetli hız (Kural 6)	Planlama	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0158
E3	atışmadan Kaçınma manevrası (Kural 8)	Yorumlama	Gecikmeli yorumlama	I3	1,0E-02	0,0200
E4	Kısıtlı görüşte verilecek ses sinyalleri (Kural 35)	Uygulama	Kaçırılan eylem	E5	3,0E-02	0,0060
E5	SMS’in uygulanmaması	Planlama	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0112
E6	Komut tekrar hatası	Uygulama	Kaçırılan eylem	E5	3,0E-02	0,0238
E7	Dil Bariyeri	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0014
E8	SMCP’ye uymama	Uygulama	Yanlış türdeki eylem	E1	3,0E-03	0,0003
E9	Kaptan- kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması	Planlama	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0178
E10	Yetersiz müzakere (Challenge and response)	Planlama	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0158
E11	Köprüüstü ekibi arasında yetersiz iletişim	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0056
E12	atışma önleyici ekipmanların yetersiz kullanımı	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0056
E13	Seyir ekipmanlarına aşırı güven	Uygulama	Yanlış türdeki eylem	E1	3,0E-03	0,0134
E14	Aşırı zihinsel yk	Planlama	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0282
E15	Yetersiz dinlenme	Planlama	Yetersiz Plan	P2	1,0E-02	0,0224
E16	Dikkat dağınıklığı	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0316
E17	Yanlış karar verme	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0158
E18	Bilgi eksikliği	Uygulama	Yanlış türdeki eylem	E1	3,0E-03	0,0024
E19	Eğitim eksikliği	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0089
E20	Tecrübe eksikliği	Yorumlama	Karar hatası	I2	1,0E-02	0,0126
E21	Eksik sefer planı	Uygulama	Yanlış türdeki eylem	E1	3,0E-03	0,0053

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Örnek olarak E1 Basit olayını ele alırsak temel yöntemde olasılık aralığı 1.00E-03 ile 1.00E-01 aralığında bulunmuştur. Genişletilmiş versiyonda E1 olayının bulunan nihai hata olasılığı ise 00,0035 olarak belirlenmiştir ve bu temel yöntemde belirlenen aralık içindedir. Görüldüğü gibi CREAM'in temel ve genişletilmiş versiyonun sonuçları düzgün bir şekilde örtüşmektedir. Genişletilmiş versiyonda elde edilen nihai insan hatası olasılıklarının her birinin temel versiyonda elde edilen aralıklar içerisinde olduğu görülmektedir.

3.5.1.4. Diğer Kök Nedenlerin Olasılıklarının Bulanık Mantık Teorisi ile Elde Edilmesi

İnsan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerin olasılıkları 13 kök nedenin olasılığı Bulanık Mantık Teorisi ile belirlenmiştir.

3.5.1.5. Sözel Değişkenlerin Üyelik Fonksiyonlarını Belirleme

Bulanık mantık teorisine yönelik sözel değişkenler belirlenirken farklı sayıda dilsel değişken içeren tablolar seçilebilmektedir. Chen ve Hwang (1992) tarafından yapılmış olan çalışmada 8 farklı değişken ölçeği belirtilmiştir (Chen ve Hwang, 1992:325). Bu çalışmada insan hatasıyla ilgili olmayan kök nedenlerin başka bir deyişle basit olayların olasılıklarının tahmini için 7 sözel değişkenli tablo kullanılmıştır. İnsanın işleyen bellek kapasitesinin tipik tahmini 7 ± 2 parça olması ve bunun da insanların bir seferde yapabileceği uygun karşılaştırma sayısının 5 ve 9 aralığında olması nedeniyle bu çalışmada 7 değişkenli tablo kullanılmıştır (Huang ve diğerleri, 2001:155). Bilgi edinimi, dilsel değişkenler için bulanık üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasına yönelik tipik bir stratejidir. Yamuk bulanık sayılar, çeşitli bulanık sayı türleri arasında anlaşılması ve uygulanması en kolay olanıdır (Badida ve diğerleri, 2019:286). Bu çalışmada da yamuk bulanık sayıları kullanarak farklı dilsel değişkenler tanımlanmıştır. Tablo 26 bu sözel değişkenleri ve onların yamuk üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.

Tablo 26: Sözel Değişkenler Ve Bulanık Üyelik Fonksiyonları

Sözel Değişken	Anlamı	Yamuk Üyelik Fonksiyonları
Çok Düşük (ÇD)	Olası olayların meydana gelme olasılığı neredeyse imkansızdır	(0, 0,20] (0, 0,1, 0,1, 0,2)
Düşük (D)	Olası olayların ortaya çıkma ihtimali oldukça düşüktür	(0,10, 0,30] (0,1, 0,2, 0,2, 0,3)
Az Düşük (AD)	Olası olayların ortaya çıkma ihtimali düşüktür fakat olabilir	(0,20, 0,50] (0,2, 0,3, 0,4, 0,5)
Orta (O)	Olası olayların ortaya çıkma ihtimali eşit şansa sahiptir	(0,40, 0,60] (0,4, 0,5, 0,5, 0,6)
Az Yüksek (AY)	Olası olayların ortaya çıkma ihtimali muhtemeldir	(0,50, 0,80] (0,5, 0,6, 0,7, 0,8)
Yüksek (Y)	Olası olaylar ortaya büyük ihtimalle çıkar	(0,70, 0,90] (0,7, 0,8, 0,8, 0,9)
Çok Yüksek (ÇY)	Olası olayların ortaya çıkma ihtimali çok yüksektir, neredeyse kesindir	(0,8, 1,0] (0,80, 0,9, 1,0, 1,0)

Kaynak : Huang ve diğerleri, 2001:155

3.5.1.6. Uzman Görüşlerinden Hata Olabilirliklerin Hesaplanması

Denizcilik faaliyetlerinin doğasına ilişkin veri kaynağına ulaşmak zordur ve bunu aşmak için uzmanların görüşlerinden yararlanılır (S. M. Lavasani ve diğerleri, 2015:729-730). Basit olaylar; olaylar zincirinin başlatılmasında kilit rol oynadığı için uzmanlar her basit olay hakkında görüşlerini belirtir. Uzmanlar farklı düzeylerde beceriye, eğitime, kurumsal ve entelektüel bilgiye sahiptirler. Uzmanın değerlendirmesi bu aşamadaki farklılıktan etkilenir. Uzmanların ağırlıklandırma puanları, değerlendirme doğruluğunu artırmak ve araştırmanın sorgulanmasını önlemek için önemlidir. Shan ve diğerleri (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada değişkenlerin olasılıkları belirlenirken 4 farklı uzman görüşünden faydalanılmış ve her bir uzmanın nitelikleri ve ilgili tecrübeleri farklı olduğu için uzman ağırlık katsayıları belirlenerek, her bir uzmanın etkisi ölçüsünde değişkenlerin olasılıkları hesaplanmıştır(Shan ve diğerleri, 2017:5). Bu çalışmada da insan hatasıyla ilişkili olmayan basit olayların olasılığını belirlemek için uzman görüşünden yararlanılmıştır.

3.5.1.7. Uzman Seçimi ve Uzman Ağırlık Katsayısı Hesabı

Uzmanların seçimiyle ilgili bilgi bölüm 3.5.1’de verilmiştir. Uzmanların bilgisi ise yine aynı bölümdeki Tablo 19’da paylaşılmıştır. Bulanık mantık teorisiyle gerçekleştirilen analizde uzmanların olasılıklar üzerindeki etkileri başka bir ifadeyle ağırlıkları belirlenirken Tablo 27’de belirtilmiş olan ağırlık kriterleri göz önüne alınarak, her bir uzmanın ağırlık katsayısı Tablo 28’deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 27: Uzman Ağırlık Katsayısı Belirleme Kriterleri

Değişken	Sınıflandırma	Skor
Meslek	Akademisyen/Uzakyol Kaptanı	5
	Emniyet Departmanı/ Uzakyol Kaptanı	4
	Kılavuz Kaptan	3
	Uzakyol Kaptanı	2
	Uzakyol Birinci Zabit	1
Denizcilik Tecrübesi (Deniz ve kara dahil)	≥ 16 yıl	5
	11-15 yıl	4
	6-10 yıl	3
	3-5 yıl	2
	≤ 2 yıl	1
Eğitim Seviyesi	Doktora	5
	Yüksek Lisans	4
	Lisans	3
	Yüksekokul	2
	Meslek Lisesi	1

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 28: Uzman Profili ve Ağırlık Katsayıları

Uzman Sayısı	Meslek	Deniz Tecrübesi	Eğitim Seviyesi	Ağırlık Faktörü	Ağırlık Katsayısı
U1	1	3	3	1+3+3=7	7/69 =0,101
U2	4	3	3	4+3+3=10	10/69=0,145
U3	5	4	5	5+4+5=14	14/69=0,203
U4	3	5	4	3+5+4=12	12/69=0,174
U5	2	5	4	2+5+4=11	11/69=0,159
U6	5	5	5	5+5+5=15	15/69=0,217

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.1.8. Uzman Görüşlerinden Kök Nedenlerin Olasılıklarının Hesaplanması

Denizcilik uzmanlarının görüşlerini almadan önce, basit olaylarla ilgili uzmanların görüşlerini sağlıklı şekilde alabilmek için sorular hazırlanmıştır. Bu sorular ek 2’de verilmiştir. Denizcilik uzmanlarının dilsel ifadelerini bulanık sayılara dönüştürmek için yamuk üyeli fonksiyon denklemi (19) kullanılmıştır ve sözel değişkenlerin sayısal karşılıkları Tablo 26’da gösterilmiştir. Soruları yanıtlarken uzmanlar sayısal ifadeler yerine Tablo 26’da örneği verilmiş olan sözel değişkenleri kullanmışlardır. Görüşmeler sonrasında her bir uzmanın insan hatasıyla ilgili olmayan kök nedenler başka bir deyişle basit olaylar için Tablo 26’yı baz alarak belirtmiş oldukları sözel ifadeler aşağıdaki Tablo 29’da belirtildiği şekildedir.

Tablo 29: İnsan Hatasıyla İlgili Olmayan Basit Olaylar Üzerine Sözel Uzman Görüşleri

Basit Olaylar	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Uzman 6
E22	AY	Y	O	AD	Y	Y
E23	Y	AY	AY	AD	AD	AY
E24	AY	AY	M	AD	M	AY
E25	D	ÇD	D	ÇD	AD	ÇD
E26	AD	AD	AY	Y	D	AD
E27	AY	M	AY	M	D	M
E28	AY	AY	AD	AD	D	M
E29	M	AD	M	D	ÇD	AD
E30	D	Y	M	ÇD	AD	D
E31	ÇD	ÇD	AD	D	ÇD	D
E32	AY	M	AD	D	D	Y
E33	AD	AD	AD	AD	D	D
E34	AD	AD	AD	D	ÇD	AD

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.1.9. Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi

Olasılıkların değerlendirilmesinde sözel değişkenlerin kullanılması uzmanların cevaplarını rahat şekilde belli bir aralık dahilinde verebilmelerini sağlarken, sayısal veriler elde edebilmek için bu sözel ifadelerin kendilerine karşılık gelen bulanık

sayılara dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bu noktada ise her bir uzmanın farklı görüşünün uzman ağırlık katsayıları dikkate alınarak uzman görüşlerinin uygun şekilde birleştirilmesi gerekmektedir.

Birden fazla uzman görüşünün olduğu durumlarda görüşleri birleştirmek için bulanık küme teorisine dayalı olarak farklı birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada 1996 senesinde Hsu ve Chen tarafından ortaya konmuş olan benzerlik birleştirme yöntemi (SAM-Similarity Agreement Method) ve (21)-(25) denklemleri kullanılmıştır(Hsu ve Chen, 1996:281). Bunun sonucunda Tablo 30’da verilmiş olan bulanık sayı değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 30: İnsan Hatasıyla İlgili Olmayan Basit Olaylara Ait Birleştirilmiş Bulanık Sayılar

Basit Olaylar	Birleştirme hesabı sonrasında bulanık sayılar
E22	(0,540, 0,640, 0,669, 0,779)
E23	(0,429, 0,529, 0,617, 0,717)
E24	(0,417, 0,517, 0,581, 0,681)
E25	(0,063, 0,111, 0,178, 0,278)
E26	(0,314, 0,414, 0,483, 0,583)
E27	(0,388, 0,488, 0,520, 0,620)
E28	(0,309, 0,409, 0,474, 0,574)
E29	(0,216, 0,301, 0,352, 0,452)
E30	(0,234, 0,317, 0,351, 0,451)
E31	(0,072, 0,126, 0,189, 0,289)
E32	(0,328, 0,428, 0,461, 0,561)
E33	(0,165, 0,265, 0,330, 0,430)
E34	(0,153, 0,238, 0,321, 0,421)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.1.10. Birleştirilen Bulanık Sayıların Durulaştırılması Süreci

Uzman görüşlerini birleştirerek sözel değişkenlerden bulanık sayı kümelerini oluşturduktan sonraki aşama bu bulanık sayılardan ölçülebilir bir sonuç üretme sürecidir başka bir deyişle durulaştırma sürecidir. Durulaştırma işlemi sonucunda her bir basit olay için durulaştırılmış hata olasılığı (failure possibility) elde edilmektedir.

Durulaştırma sürecinde kullanılabilen farklı teknikler içerisinde ağırlık merkezi durulaştırma yönteminin diğer yöntemlere göre uygulanabilirliği çok daha kolaydır(Leekwijck ve Kerre, 1999:167). Denklem (26) uzmanların görüşlerini bütünleştirmek için kullanılmıştır. Durulaştırma, bütünleşik sonuçlar elde edildikten

sonra bulanık sayıları ayırık değerlere dönüştürmek için denklem (27) kullanılmıştır. Tablo 31’de her bir kök neden için bütünleşik değerler, Tablo 32’de ise her bir kök nedene ait durulaştırılmış hata olabirlikleri verilmiştir

Tablo 31: Basit Olaylar için Bütünleşik Uzman Görüşleri

Basit Olay	Basit olay hatalarına ilişkin bütünleşik uzman görüşleri			
E22	0,540	0,640	0,669	0,769
E23	0,429	0,529	0,617	0,717
E24	0,417	0,517	0,581	0,681
E25	0,063	0,111	0,178	0,278
E26	0,314	0,414	0,483	0,583
E27	0,388	0,488	0,520	0,620
E28	0,309	0,409	0,474	0,574
E29	0,216	0,301	0,352	0,452
E30	0,234	0,317	0,351	0,451
E31	0,072	0,126	0,189	0,289
E32	0,328	0,428	0,461	0,561
E33	0,165	0,265	0,330	0,430
E34	0,153	0,238	0,321	0,421

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 32: Her Bir Kök Nedene Ait Durulaştırılmış Hata Olabirlikleri

Basit Olaylar	Durulaştırılmış hata olabirlikleri
E22	0,655
E23	0,573
E24	0,549
E25	0,160
E26	0,449
E27	0,504
E28	0,442
E29	0,331
E30	0,339
E31	0,171
E32	0,445
E33	0,298
E34	0,284

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.1.11. Hata Olasılıklarının Hesaplanması

İnsan hatasıyla ilgili olmayan basit olayların olasılıklarının hesabında son aşama ise durulaştırılmış hata olabirliklerinden (defuzzied failure possibilities), hata olasılıklarının (failure probabillites) hesaplanması sürecidir. Bu süreçte 1988 yılında Onisawa tarafından geliştirilmiş olan denklem (27) ve (28) kullanılmıştır(Onisawa, 1988:89). Bunun sonucunda elde edilmiş olan aşağıdaki Tablo 33'teki hata olasılık değerleri, insan hatasıyla ilgili olmayan her bir basit olay için hata olasılığı değerlerini vermektedir.

Tablo 33: Her Bir Basit Olaya Ait Hata Olasılıklarının Hesaplanması (Failure Probability)

	Basit Olaylar	Durulaştırılmış hata olabirlikleri	K-Sabit Katsayı	Hata Olasılıkları
E22	Ana makine arızası	0,655	1,859	0,01382
E23	Dümen arızası	0,573	2,086	0,00820
E24	Seyir yardımcılarının arızalanması	0,549	2,155	0,00700
E25	Şirket prosedürlerinde eksiklik	0,160	4,001	0,00010
E26	Sis	0,449	2,464	0,00343
E27	Şiddetli akıntı	0,504	2,288	0,00516
E28	Şiddetli rüzgar	0,442	2,487	0,00326
E29	Arka plan ışıkları/objeleri	0,331	2,908	0,00123
E30	Gece seyri	0,339	2,874	0,00134
E31	Şamandıranın kayıp/eksik olması	0,171	3,894	0,00013
E32	Diğer gemilerin hatası	0,445	2,478	0,00333
E33	Yetersiz VTS yönetimi	0,298	3,063	0,00087
E34	VTS takip hatası	0,284	3,133	0,00074

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.2. Hata Ağacı Analizi

Hem mevcut kaza raporları hem de mevcut literatür incelenmiş, uzman görüşleri de alınarak kök nedenler belirlenmiştir. Kök nedenler belirlendikten sonra hata ağacı yapısı oluşturulmuş, basit ve ara olaylar ile bunların arasındaki mantıksal ilişkiler uzman görüşleri de alınarak ortaya çıkartılmıştır. Sonraki süreçte araştırmanın nicel bölümü kapsamında insan hatası ile ilgili olmayan her bir basit olayın olasılık hesabı uzman görüşlerine başvurularak bulanık mantık ile belirlenmiştir. İnsan hatasıyla ilgili basit olayların olasılık hesabı ise yine uzman görüşlerine başvurularak Bilişsel Güvenilirlik Hata Analizi Yöntemiyle (CREAM) belirlenmiştir. Hata ağacı analizi ile de yoğun suyollarında çatışma kazası tepe olayı olasılığı Denklem (1)-(4) ile 0,2729 olarak bulunmuştur.

3.5.2.1. Minimum Kesim Kümelerinin ve Tepe Olayın Hata Olasılığının Hesaplanması

Tepe olay olasılığını belirlemek için hesaplanan önem ölçütleri kümesi hata ağacı analizinin en önemli sonuçlarından biridir. Bu tür önem ölçümleri, tepe olay olasılığına etkileri açısından hata ağacındaki tüm minimum kesimlerin önemini ortaya koyar(S. M. Lavasani, Zendegani ve diğerleri, 2015:81). Önem ölçütleri bileşen ve sistem tasarımıdaki güvenilir ve zayıf bağlantıların tanınmasına yardımcı olur. Mevcut farklı sıralama yöntemlerinde, her minimum kesimin tepe olay hatasına etkisi belirlenir ve sıralama minimum kesimlerine Fussell-Vesely (F-V) Önem Ölçüsü uygulanır(Yazdi ve diğerleri, 2017:1183). Fussell-Vesely Önem Ölçüsü (F-VIM), tepe olay olasılığına minimum kesim kümesi (MCS) katkısının bir ölçüsüdür. Her minimum kesim kümesi (MCS) için F-VI ölçüsü belirlenebilir ve bu, minimum kesim kümeleri tepe olay olasılığı üzerindeki etkilerine göre seçmemize olanak tanır. F-VI, spesifik oluşumları içeren tüm tepe olay minimum kesim kümelerinin eklenmesiyle belirlenir(S. M. Lavasani, Zendegani ve diğerleri, 2015:81-82).

Her minimum kesim kümesinin hata ağacındaki bağlantısı bölüm 2.1.3'te verilen denklem (1)-(3) kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada tepe olay için toplamda 34 minimum kesim kümesi (MCS) bulunmuştur. 34 basit olay ve hata

ağacındaki tüm kapılar ‘veya’ kapısı olduğu için de 34 minimum kesim kümesi (MCS) vardır. Yoğun suyollarında çatışma kazalarının kök nedenlerine ait belirlenen minimum kesim kümelerinin olasılıkları Tablo 34’ te verilmiştir. Denklem (4) ile yoğun suyollarında çatışma kazası tepe olayı olasılığı 0,2729 olarak bulunmuştur.

Tablo 34: Yoğun Suyollarında Çatışma Kazalarının Kök Nedenlerine Ait Minimum Kesim Kümeleri

MCS	Basit olay	Hata Olasılığı	MCS	Basit olay	Hata Olasılığı
1	E16	0,0316	18	E12	0,0056
2	E14	0,0282	19	E11	0,0056
3	E6	0,0238	20	E21	0,0053
4	E15	0,0224	21	E27	0,0052
5	E3	0,0200	22	E1	0,0035
6	E9	0,0178	23	E26	0,0034
7	E17	0,0158	24	E32	0,0033
8	E10	0,0158	25	E28	0,0033
9	E2	0,0158	26	E18	0,0024
10	E22	0,0138	27	E7	0,0014
11	E13	0,0134	28	E30	0,0013
12	E20	0,0126	29	E29	0,0012
13	E5	0,0112	30	E33	0,0009
14	E19	0,0089	31	E34	0,0007
15	E23	0,0082	32	E8	0,0003
16	E24	0,0070	33	E31	0,0001
17	E4	0,0060	34	E25	0,00009

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.5.2.2. Minimum Kesim Kümelerinin Sıralaması

Birçok güvenilirlik ve risk analizinin temel amacı, güvenilirlik açısından kritik olan bileşenleri veya minimum kesim kümelerini belirlemektir ve bu nedenle sistemi daha emniyetli hale getirmek için bunların geliştirilmesine öncelik verilmelidir (Yazdı ve diğerleri, 2017:1190). Her minimum kesim kümesinin (MCS) tepe olay frekansı ile ilgisi, MCS derecelendirmesi ile temsil edilir. Başka bir deyişle tepe olay olasılığının duyarlılığı, minimum kesim kümelerinin tepe olay olasılığına etkilerine ve alaka düzeyine göre sıralanmasıyla hesaplanır (Ünver ve diğerleri, 2019a:294). Vesely-Fussell Önem Ölçüsü (V-FIM) yaklaşımı, denklem (1) kullanılarak minimum kesim kümelerini derecelendirmek için kullanılabilir. Bu araştırmada duyarlılığı analiz etmek için V-FIM kullanılmıştır.

Hata ağacının minimum kesim kümeleri denklem (2) kullanılarak sıralanmıştır. Minimum kesim kümeleri belirlenen önem derecelerine göre Tablo 35'te sıralanmıştır.

Tablo 35: Minimum Kesim Kümelerinin Belirlenen Önem Derecelerine Göre Sıralaması

Sıralama	MCS/BE	V-FIM	Sıralama	MCS/BE	V-FIM
1	E16	0,1112	18	E12	0,0197
2	E14	0,09923	19	E11	0,0197
3	E6	0,08375	20	E21	0,01865
4	E15	0,07882	21	E27	0,01815
5	E3	0,07037	22	E1	0,01232
6	E9	0,06263	23	E26	0,01209
7	E17	0,0556	24	E32	0,0117
8	E10	0,0556	25	E28	0,01146
9	E2	0,0556	26	E18	0,008445
10	E22	0,04863	27	E7	0,004926
11	E13	0,04715	28	E30	0,004707
12	E20	0,04434	29	E29	0,004344
13	E5	0,03941	30	E33	0,003047
14	E19	0,03132	31	E34	0,002593
15	E23	0,02885	32	E8	0,001056
16	E24	0,02463	33	E31	0,0004493
17	E4	0,02111	34	E25	0,0003511

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

V-FIM değerlerine dayanarak ilk beş basit olayın en yüksek minimum kesim kümelerini oluşturduğu görülmektedir. Olasılığı en yüksek olan ilk 10 minimum kesim kümesi ise Tablo 36'da görüldüğü gibidir.

Tablo 36: Olasılığı En Yüksek Olan 10 Minimum Kesim Kümesi

MCS	Basit olay	Hata Olasılığı
1	E16	0,0316
2	E14	0,0282
3	E6	0,0238
4	E15	0,0224
5	E3	0,0200
6	E9	0,0178
7	E17	0,0158
8	E10	0,0158
9	E2	0,0158
10	E22	0,0138

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

3.6. ARAŞTIRMANIN KISITLARI

Çalışmada dünyadaki pek çok yoğun suyollarından özellikle Malacca ve Singapur Boğazı, İngiliz Kanalı ve Dover Boğazı, Cebelitarık Boğazı, İstanbul ve Çanakkale Boğazı'nda gerçekleşmiş kaza raporları ve buralara yönelik yapılmış çalışmalar incelenerek yoğun suyollarında çatışma kazasına yönelik kök nedenler oluşturulup risk analizi gerçekleştirilmiştir. Ancak bu suyollarında gerçekleşen bazı çatışma kazalarına ait detaylı kaza raporu hazırlanmadığı için her kazaya dair ayrıntılı rapora ulaşılamamıştır Bu çalışmanın bir kısıtıdır.

Analiz teknikleri uygulanırken görüş alınan uzmanların yoğun suyollarında tecrübeli olup akademisyenlik, kılavuz kaptanlık ve operasyon departmanında çalışmış olmaları gibi çeşitli meslek deneyimlerine sahip olsalar da hepsinin Türk uzmanlar oluşu çalışmanın bir diğer kısıtı olabilir. Uzmanların farklı kültürlerden seçilebilmesi değişkenlerin daha farklı boyutlarda incelenmesini sağlayabilirdi.

3.7. BULGULAR

“Yoğun suyollarında çatışma kazası” olayı için hata ağacı analizi sonucu tepe olay olasılık değeri “0,2729” olarak hesaplanmıştır. Bulgular E16(dikkat dağınıklığı), E14(Aşırı zihinsel yük), E6 (Komut tekrar hatası), E15 (Yetersiz dinlenme), E3 (COLREG kural 8 ihlali) ve E9 (Kaptan- kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması) basit olaylarının tepe olaya neden olan baskın faktörler olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda MCS1 (E16), MCS2 (E14), MCS3 (E6), MCS4 (E15), MCS5 (E3), MCS6 (E9), MCS7 (E17) tepe olaydan sorumlu olan minimum kesim kümelerinin başında gelmektedir.

Hata ağacında “Emniyetsiz Eylemler” ara olayı altındaki insan hatasıyla ilişkili olan basit olayların, “Emniyetsiz Koşullar” ara olayı altındaki insan hatasıyla ilişkili olmayan basit olaylara göre tepe olay üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Teknik olmayan beceriler ara olayı altındaki “Dikkat dağınıklığı” E16 basit olayının 0,0316 olasılıkla 0,1 V-FIM değeri ile en üstteki tepe olay olan yoğun suyollarında çatışma kazası üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu bulunmuştur.

İkinci olarak 0,0282 olasılık ve ilişkili minimum kesim kümesinin 0,099 V-FIM değeri ile tepe olaya etkisiyle yine aynı ara olay altındaki yorgunluğun altında yer alan “Aşırı zihinsel yük” E14 basit olayı gelmektedir. Gemiler/VTs arasında iletişim hatası ara olayı altındaki “komut tekrar hatası” E6 basit olayı 0,0238 olasılığı ve ilişkili minimum kesim kümesinin 0,083 V-FIM değeri ile tepe olaya etkisiyle üçüncü sırada yer almaktadır. Onu COLREG ihlalleri ara olayı altındaki “Çatışmadan Kaçınma manevrası (Kural 8)” E3 basit olayı 0,020 olasılık ile izlemektedir. Teknik olmayan beceriler ara olayı altındaki yorgunluk başlığına ait iki basit olayın ikisinin de olasılığı ve tepe olay üzerindeki etkisi yüksek olan kök nedenler arasında olduğu görülmektedir.

İnsan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerden direk emniyetsiz koşullar ara olayı altında bulunan “Şirket prosedürlerinde eksiklik” E25 basit olayının 0,00010 olasılık ve ilişkili minimum kesim kümesinin 0,0003 V-FIM değeri ile tepe olaya etkisi en az olan basit olay olduğu belirlenmiştir.

Gemiler/VTs arasında iletişim hatası ara olayı altındaki “SMCP’ye uymama” E8 basit olayı 0,003 olasılık ve ilişkili minimum kesim kümesinin 0,001 V-FIM değeri ile tepe olay üzerindeki etkisi en az olan insan hatasıyla ilişkili kök neden olduğu görülmektedir. Bunu aynı ara olay altındaki bir diğer iletişim hatası olan “Dil bariyeri” E7 basit olayı 0,0014 olasılıkla izlemektedir. Teknik beceriler ara olayı altındaki “Bilgi eksikliği” E18 basit olayının olasılığının ise 0,0024 olduğu ve onu takip eden COLREG ihlalleri ara olayı altındaki “gözcülük” E1 basit olayının olasılığının ise 0,0035 olduğu görülmektedir. Burada da göze çarpan iki düşük kök neden olasılığının ve tepe olay üzerindeki düşük etkisinin de gemiler/VTs arasında iletişim hatası ara olayı altındaki üç basit olaydan ikisine ait oluşudur.

İnsan hatasıyla ilişkili olmayan “Emniyetsiz Koşullar” ara olayı altındaki kök nedenlere baktığımızda ise 0,0138 ile olasılık ve ilişkili minimum kesim kümesinin 0,04863 V-FIM değeri ile tepe olay üzerindeki en yüksek etkiye sahip olan basit olay ekipman hatası ara olayı altındaki “Ana makine arızası” E22 basit olayıdır. Onu 0,00820 olasılık ve ilgili minimum kesim kümesinin 0,02885 V-FIM değeri ile yine aynı ara olay altındaki “Dümen arızası” E23 basit olayı izlemektedir. Aynı ara olay altındaki “seyir yardımcılarının arızalanması” E24 basit olayının olasılığı 0.007 ve ilgili minimum kesim kümesinin V-FIM değeri 0,02463 olarak bulunmuştur. Ekipman hatası ara olayı altındaki üç basit olayın da insan hatasıyla ilişkili olmayan kök

nedenlerin arasında en yüksek olasılıklara ve tepe olay üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu görülmektedir.

İnsan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerden tepe olay üzerinde en az etkiye sahip olan “Şirket prosedürlerinde eksiklik” E25 basit olayını üçüncü taraf hatası ara olayı altındaki “Kayıp/eksik şamandıra” E31 basit olayı 0.00013 olasılık ile izlemektedir. Sonrasında ise yine aynı ara olay altındaki VTS hataları başlığındaki “VTS takip hatası” E34 ara olayı 0.00074 olasılık ile yer almaktadır. Emniyetsiz koşullar altındaki basit olaylardan en düşük olasılığa ve tepe olay üzerinde en düşük etkiye sahip olan üç olaydan ikisinin üçüncü taraf hataları ara olayı altında yer aldığı görülmektedir.

3.8. ARAŞTIRMANIN BULGULARININ TARTIŞILMASI

Gerçekleştirilen risk analizi sonucu öne çıkan yoğun suyollarında çatışma kazasında etkisi yüksek olan kök nedenler insan hatasıyla ilişkili kök nedenlerden dikkat dağınıklığı , aşırı zihinsel yük, komut tekrar hatası, yetersiz dinlenme ve COLREG kural 8 ihlali olarak belirlenmiştir. Dikkat dağınıklığı, aşırı zihinsel yük ve yetersiz dinlenme kök nedenleri durumsal farkındalık ara olayı altındaki kök nedenlerin tamamamını oluşturmaktadır.

Tunçel ve diğerleri, (2023b) de dökme ve genel kargo gemilerinin çatışma ve karaya oturma kazalarına yönelik gerçekleştirdikleri risk analizinde yine bu çalışmayla uyumlu şekilde çatışma kaza riskini en çok arttıran faktörlerin COLREG’in yanlış yorumlanması ve durumsal farkındalık eksikliği olduğunu belirlemişlerdir (Tunçel ve diğerleri, (2023b).

Töz ve diğerleri, (2022) çatışma kazalarına yönelik hata ağacı analizi çalışmasında çatışma kazalarının emniyetli seyir vardiyası tutulamamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir (Töz ve diğerleri, 2022:27). Uflaz ve diğerleri, (2023b) yoğun suyollarında çatışma kazalarında insan hatasına yönelik yaptıkları risk analizinde tek gözcü nedeniyle yetersiz vardiya tutulması kök nedeninin en yüksek olasılığa sahip kök neden olduğunu bulmuşlardır (Uflaz ve diğerleri, 2023b:9). Tek gözcü nedeniyle yetersiz vardiya tutulması ve emniyetli seyir vardiyası tutulamaması aslında köprüüstü kaynak yönetimiyle ilişkilendirilebilir. Bu çalışmada Töz ve

diğerleri ile Uflaz ve diğerlerinin çalışmalarıyla tutarlı şekilde BRM eksikliği ara olayı altında yer alan kaptan-kılavuz kaptan arasında yetersiz bilgi alışverişi kök nedeninin çatışma kazasına etkisi yüksek bulunmuştur.

Uğurlu ve diğerleri (2015b) çatışma ve karaya oturma kazalarına yönelik gerçekleştirdikleri hata ağacı analizinde çatışma kazasında COLREG ihlali ve gemiler arasında iletişim eksikliğini öne çıkan kök nedenler olarak belirlemişlerdir; ancak bu çalışmada yoğun suyuollarında diğer gemilerle iletişimle ilişkili “SMCP’ye uymama” ve “dil bariyeri” kök nedenlerinin yoğun suyuollarında çatışma kazasında düşük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte yine diğer gemilerle iletişimle ilgili olan “komut tekrar hatası” kök nedeninin yoğun suyuollarındaki çatışma kazasına etkisi ise yüksek bulunmuştur. Uğurlu ve diğerlerinin (2015b) çalışmasında tüm çatışma kazaları ele alınırken bu çalışmada yoğun suyuollarında çatışma kazaları ele alınmaktadır. Yoğun suyuollarında genellikle iletişimi takip eden bir VTS olması da diğer gemilerle iletişim hatası olasılığını düşürmektedir. SMCP’ye uymama ve dil bariyeri riskleri VTS’in gemi hareketlerini takibi sayesinde azaltılabilecek riskler iken özellikle gemiler arasındaki komut tekrar hatası görece takibi zor bir durumdur. Aynı zamanda komut tekrar hatası da gemiler arası yetersiz iletişimin bir sonucudur. Bu çalışmada oluşturulan hata ağacı daha ayrıntılı olduğu için SMCP’ye uymama ve dil bariyeri gibi daha düşük olasılıklı kök nedenler diğer gemilerle iletişim hataları başlığı altında yer almıştır.

Çatışma kazasına yönelik yapılmış olan diğer risk analizi çalışmalarında bu çalışmayla benzer şekilde öne çıkan faktörlerin insan hatasıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada öne çıkan bir diğer insan hatası da Uğurlu ve diğerlerinin (2015b) çalışmasının bulgularından bir diğeriyle benzer şekilde COLREG ihlalleri başlığı altındaki “Çatışmadan kaçınma manevrası (Kural 8)” ve “emniyetli hız (Kural 6)” ihlalleridir. Uğurlu ve Cicek, (2022c) de çatışma kazalarına yönelik risk analizi çalışmalarında COLREG kurallarının ihlalinin çatışma kazalarında en önemli ve etkili faktör olduğunu belirlemişlerdir (Uğurlu ve Cicek, 2022c:15). Çalışmadaki emniyetli hız ihlali bulgusuyla uyumlu şekilde Qu ve diğerleri, (2011c) de Singapur Boğazında çatışma kazalarıyla ilgili gerçekleştirdikleri risk analizinde gemilerin yaklaşık %25’inin hız sınırını aşan bir hızla ilerlediğini ve bunun da daha yüksek gemi çarpışma potansiyeline yol açtığını ortaya koymuşlardır(Qu ve diğerleri, 2011c:2030) .

Bu çalışmayla benzer yöntemleri kullanan Ung, (2019b), petrol tankeri çatışma kazalarında insan hatasının katkılarını hata ağacı analizi ve modifiye edilmiş bulanık Bayes Ağı tabanlı CREAM ile değerlendirdiği çalışmasında öne çıkan faktörleri, bu çalışmayla benzer şekilde Köprüüstü kaynak yönetimi eksikliği, gemiler arası iletişim eksikliği, yorgunluk ve COLREG ihlali olarak belirlemiştir. Ung'un çalışmasında gemi tipi farklı olsa da elde ettiği sonuçların bu çalışmanın sonuçlarıyla büyük oranda tutarlı olduğu görülmektedir.

Chauvin ve diğerleri, (2013b) deniz kazalarında insan ve organizasyonel faktörleri İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ile inceledikleri çalışmalarında çatışma kazalarında öne çıkan etkenin karar hatası olduğunu, bunu eksik durum farkındalığı, dikkat dağınıklığı, zayıf görüş, yetersiz köprüüstü kaynak yönetiminin izlediğini belirtmişlerdir (Chauvin ve diğerleri, 2013b:34-35). Bu çalışmada karar hatasıyla ilişkili olan kök neden “çatışmadan kaçınma manevrası (Kural 8)” ihlalidir. Burada zabitin ya da süvarinin yoğun suyollarında yanlış manevra kararı COLREG kural 8 çatışmadan kaçınma manevrası kuralının ihlali olarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonucu COLREG kural 8 çatışmadan kaçınma manevrası kuralının ihlali yoğun suyollarında çatışma kazasına etkisi yüksek olan etmenlerden biri olarak belirlenmiştir. Yine Chauvin ve diğerlerinin (2013b) dikkat dağınıklığı çıkarımı da yukarıda da tartışıldığı gibi bu çalışmanın bulgularıyla tutarlıdır. Zayıf görüş çıkarımı ise bu çalışmada emniyetsiz koşullar ve kötü hava şartları altında incelenmiştir. Emniyetsiz koşullar altındaki kök nedenlerden olan zayıf görüşle ilişkili “sis” basit olayının diğerleri kadar olmasa da yine yoğun suyollarındaki çatışma kazalarına etkisi yüksek olan kök nedenlerden olduğu belirlenmiştir.

Aydın ve diğerleri, (2021) dar sulardaki çatışma kazalarına yönelik bulanık Bayes Ağı yöntemiyle gerçekleştirdikleri risk analizi çalışmasında öne çıkan çatışmada etkisi yüksek olan faktörleri sırasıyla diğer gemiyle yetersiz iletişim, ISM prosedürünün yetersiz uygulanması, köprüüstünde personel sayısının yetersiz olması ve sonrasında da dümen/pervane sistemi arızası, kısıtlı görüş şeklinde belirlemiştir (Aydın ve diğerleri, 2021:11). SMS'in yetersiz uygulanması bu çalışmada da yoğun suyollarında çatışma kazasına etkisi yüksek olan kök nedenlerden biriyken köprüüstünde personel sayısının yetersiz oluşu yine yetersiz köprüüstü kaynak

yönetimiyle ilişkilendirilebilir. Diğer gemiyle yetersiz iletişim faktörüyle ilgili tartışma yukarıda da gerçekleştirildiği gibi komut tekrar hatası bu çalışmada da etkisi yüksek olan diğer gemilerle iletişim hatalarından iken SMCP'ye uymama ve dil bariyeri kök nedenlerinin etkisi düşük bulunmuştur. Bu çalışmada yine Aydın ve diğerlerinin (2021) çalışmasıyla tutarlı şekilde insan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerden yoğun suyollarında çatışma kazasına etkisi en yüksek olan kök nedenler sırasıyla ana makine arızası, dümen arızası ve seyir yardımcıları arızası olarak belirlenmiştir. Bu kök nedenler emniyetsiz koşullar altındaki ekipman hatası başlığına aittir.



SONUÇ

Gemi çatışma kazalarının ciddi sonuçları olabilmektedir. İstatistiklere bakıldığında çatışma kazalarının diğer kaza türlerine göre daha sık yaşandığı ve sonuçlarının diğer kaza türlerine göre çok daha ciddi ve ölümcül olabildiği görülmektedir. Yoğun su yollarında çatışma kazalarının önlenmesi hem insan hayatı hem çevre hem de ticaretin sağlıklı şekilde devam edebilmesi için önem arz etmektedir. Gemi çatışma kazaları, mürettebat üyeleri ve gemide bulunan diğer kişiler için ciddi tehlikeler oluşturabildiği gibi çatışma kazası sonucu denizde yaşanacak herhangi bir kirlilik durumu deniz ekosistemine ciddi zararlar vermektedir. Yoğun su yolları çoğunlukla dar kanal ya da boğazlar olduğu ve karaya yakın olduğu için de bu kirlilik kolayca karaya ulaşabilir; bu kıyı bölgelerindeki canlıların sağlığını, buradaki yerleşimlerin ekonomisini etkileyebilir. Bu su yollarında yoğun gemi trafik akışı olması sebebiyle burada gerçekleşen çatışma kazaları trafiği kilitleyebilir ve dolayısıyla dünya ticaretinin sürekliliğini kesintiye uğratabilir. Buralarda gerçekleşen çatışma kazaları sonucunda gemi, taşınan yük zarar görebilir, onarım ve sigorta masrafları ciddi ekonomik kayıplara sebep olabilir.

Tüm bunlar göz önünde bulundurularak bu çalışmada yoğun su yollarında çatışma kazalarında risk analizi gerçekleştirilmiştir. Yoğun su yollarında çatışma kazalarına yönelik risk değerlendirmesi amacıyla öncelikle konuyla ilgili yazın taraması gerçekleştirilmiş, yoğun su yollarında gerçekleşmiş çatışma kaza raporları incelenmiş ve tüm bunlardan çıkarılan kök nedenler uzman görüşü alınarak belirlenmiştir. Sonrasında insan hatasıyla ilgili kök neden olasılıkları Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi Yöntemiyle belirlenmiş ve insan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerin olasılıkları ise Bulanık Mantık teorisi ile elde edilmiştir. Ardından Hata Ağacı Analiziyle yoğun su yollarında çatışma kazalarının risk analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda elde edilmiş olan çıkarımlar, bu çıkarımların yorumlanması, yoğun su yollarında çatışma kazasının yaşanmaması için alınması gereken emniyet tedbirlerinin incelenmesi bu bölümde gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen hata ağacı analizi sonucunda insan hatasıyla ilişkili kök nedenlerin olasılıklarının tepe olay üzerindeki etkisinin insan hatasıyla ilişkili olmayanlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da kazalardaki insan

faktörünün önemine işaret etmektedir. Çalışmada tepe olay üzerindeki yüksek etkisiyle öne çıkan insan hatası ise durumsal farkındalık eksikliği ara olayı altındaki “dikkat dağınıklığı” dır. Bunu izleyen yoğun suyollarında çatışma kazasına etkisi en yüksek diğer kök neden ise durumsal farkındalık ara olayı altındaki yorgunluk başlığındaki “aşırı zihinsel yük” olmuştur. Yoğun suyollarında seyrederken uzun saatler süren vardiyalar, yeterince dinlenememe gibi faktörler bu durumla ilişkili olabilmektedir. Aynı zamanda yoğun suyollarında seyrederken yoğun gemi trafiğinin takibi, VHF konuşmalarının takibi, seyir cihazların takibi gibi pek çok göz önünde bulundurulması gereken değişken olmasından dolayı durumsal farkındalık düzeyinde düşüş yaşanarak dikkat dağınıklığı ve aşırı zihinsel yük durumları gözlenebilmektedir. Buna yönelik alınabilecek önlemlerden biri köprüüstü kaynak yönetiminin iyi şekilde yürütülmesi olacaktır. Böylelikle pek çok değişkenin uygun görev dağılımıyla diğer köprüüstü ekip üyeleri tarafından düzgün şekilde takibi ve paylaşımıyla, dikkat dağınıklığı ve aşırı zihinsel yük sonucu çatışma olasılığını düşürmenin mümkün olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda gemide yeterli sayıda personel olması, dinlenme saatlerine uyularak gemi personelinin yeterince dinlenmesinin sağlanması da dikkat dağınıklığı ve aşırı zihinsel yük durumunu azaltarak çatışma kazası riskini düşürebilir.

Gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonucunda üçüncü olarak çatışma kazası tepe olayına en yüksek etkiye sahip olan kök nedenin zayıf iletişim ve gemiler/VTs arasında iletişim hatası ara olayları altındaki “komut tekrar hatası” olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte aynı ara olaylar altındaki “dil bariyeri” ve “SMCP’ye uymama” kök nedenlerinin ise diğer zayıf iletişimle ilişkili kök nedenlere ve insan hatasıyla ilişkili diğer kök nedenlere göre tepe olay üzerindeki etkilerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çoğu yoğun suyolunda bulunan VTs’in gemi trafiğini ve iletişimi izleyerek konuşma diliyle ve SMCP ile ilgili yaşanabilecek aksaklıkların önüne geçtiği düşünülmektedir. Komut-tekrar hatası ise VTs’in müdahale alanı dışında görülebilir. Komut tekrar hatasının yoğun suyollarında önce çıkan bir faktör olmasında yoğun suyollarında seyrederken varolan gemi trafiği ve VHF konuşma trafiğinin etkisiyle kısa sürede konuşmaları tamamlayıp diğer işlerle ilgilenilmesi olabileceği düşünülmektedir. Komut tekrar hatası nedeniyle diğer geminin niyetinin yanlış anlaşılması ya da niyetin diğer gemi tarafından yanlış anlaşılması sonucu çok ciddi risk içeren durumlar oluşabilir. Bunu önlemek için alınabilecek tedbirlerden biri

yine efektif köprüüstü kaynak yönetiminden geçmektedir.. Aynı zamanda köprüüstündeki diğer işleri takip eden yeterli sayıda personelin varlığı, diğer gemilerle iletişime daha fazla zaman ayrılarak diğer gemilerle daha uygun konuşmaların gerçekleştirilmesine olanak sağlayabilir. Bununla birlikte periyodik BRM eğitimleri gerçekleştirilerek mürettebat bu konuda geliştirilebilir.

Çalışmada dördüncü olarak çatışma olayında en yüksek etkiye sahip olan kök neden olarak yine durumsal farkındalık ve yorgunluk ara olayı altındaki “yetersiz dinlenme” bulunmuştur. Bunun da yoğun suyuollarında gemilerde artan iş yükü sonucu personelin yeterince dinlenememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunu önlemenin yolu da MLC (Deniz İş Sözleşmesi) dinlenme saatlerine uyulmasından geçmektedir. Bu konuda IMO’nun yaptığı çeşitli girişimlere rağmen gemilerde hala yetersiz dinlenme sorunu devam etmektedir. MLC takibine yönelik şirketlerin daha ciddi denetime tabi tutulması, gemilerde hala devam etmekte olan yetersiz dinlenme sorununa çözüm getirebilir.

Gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonucu çatışma tepe olayı üzerinde etkisi yüksek olan kök nedenlerden bir diğeri ise COLREG ihlalleri ara olayı altındaki “çatışmadan kaçınma manevrası (kural 8)” ihlalidir. Bu kök neden yoğun suyuollarında yanlış ya da geç çatışmadan kaçınma manevrası yapılması gibi durumları kapsamaktadır. Bunda yoğun suyuollarındaki yoğun gemi trafiğinin etkisiyle COLREG’in yanlış yorumlanması, yol önceliğinin karıştırılması gibi faktörler etkili olabileceği gibi şirketler ve personel tarafından COLREG zaten bilinmesi gereken temel bir tüzük kabul edilerek eğitimlerde üzerinde fazla durulmaması da etkili olabilir. Gemi sahipleri, operatörleri ve kaptanları gemilerinde seyirde görev alan personelin seyir uygulamaları ve COLREG hakkında kapsamlı bir farkındalığa sahip olmasını sağlamaktan sorumludur. COLREG ihlallerini önlemek için mürettebatın yeterlilik seviyesinin düzenli aralıklarla değerlendirilmesi, gerekirse mürettebatın mesleki becerilerini güçlendirmek için tazeleme kurslarına katılması ve bu kurslarda COLREG üzerinde durulması şirket tarafından sağlanabilir.

Çatışma kazası üzerinde etkisinin yüksek olduğu belirlenen bir diğeri kök neden ise zayıf iletişim ve BRM eksikliği ara olayı altındaki “kaptan-kılavuz kaptan bilgi alışverişinin eksik yapılması” kök nedenidir. Yoğun suyuollarının çoğu önemli boğazlar ve dar kanallar olduğu için kılavuz kaptanla seyir durumu yaygın olan bir durumdur.

Gemi kaptanları kılavuz kaptanın her şeyi doğru bildiğini, pek çok gemi tipine ve köprüüstü cihaz türüne aşina olduğunu varsayarak ya da kısıtlı olan zamandan dolayı ya da kılavuz kaptanın aşırı güven vermesinden dolayı bazı zamanlar geminin manevra karakteristiği, cihazları vb. hakkında yeterli bilgiyi kılavuz kaptana vermiyor olabilir. Kılavuz kaptan da o bölgede defalarca seyrettiğinden kendine aşırı güvenerek gemi kaptanına seyrettikleri bölgenin karakteristik özellikleri hakkında yeterli bilgi vermiyor olabilir. Bunu önlemeye yönelik düzenli BRM eğitimlerinin gerçekleştirilmesi ve bu eğitimler sırasında gemi kaptanlarına özellikle kılavuz kaptanla iletişimi yönetebilmeleri için detaylı eğitim verilmesi etkili olabilir.

İnsan hatasıyla ilişkili öne çıkan kök nedenlere baktığımızda çoğunluğunun zayıf iletişim ara olayı ile seyir hataları başlığındaki eksik yetkinlik ve durumsal farkındalık ara olayları altındaki kök nedenler olduğu görülmektedir. Özellikle durumsal farkındalık altında bulunan dikkat dağınıklığı, aşırı zihinsel yük ve yetersiz dinlenme kök nedenlerinin tümünün çatışma kazası üzerindeki etkisinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu da durumsal farkındalığın önemini ortaya koymaktadır. Durumsal farkındalıkla ilgili hataların önlenmesi için yukarıda da bahsedildiği gibi uygun dinlenme saatleri ve etkin köprü üstü kaynak yönetimi önemlidir.

Çatışma kazasında en yüksek etkiye sahip olan ilk dokuz kök neden insan hatasıyla ilişkiliyken ondan sonraki üç kök neden emniyetsiz koşullar ara olayı altında incelenmiş insan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerdendir. Bunlardan çatışma kazası üzerinde en yüksek etkiye sahip olan kök neden ekipman hatası ara olayı altındaki “ana makine arızası”dır. Onu yine aynı ara olay altındaki “dümen arızası” ve “seyir yardımcılarının arızalanması” kök nedenleri izlemektedir. Ekipman hatası altındaki üç kök neden de çatışma tepe olayında etkisi yüksek olan diğer kök nedenlerdendir. Gemideki bakım tutum ve kontrollerin düzenli yapılması ekipman arızaları sebebiyle yoğun suyollarında gerçekleşen çatışma kazalarını önlemeye katkı sağlayabilir.

İnsan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerden yukarıdaki belirtilenlerden sonra en çok etkiye sahip olanlar sırasıyla şiddetli akıntı, sis, diğer gemilerin hatası ve şiddetli rüzgar olarak bulunmuştur. Yoğun suyollarının çoğunlukla dar boğaz ya da kanal oluşu, farklı yoğunluğa sahip olan okyanus ve denizleri birbirine bağlıyor oluşu gibi sebeplerin şiddetli akıntıya sebep olabileceği düşünülmektedir. Şiddetli akıntının

gemilerin manevra kabiliyeti üzerinde etkisi göz önünde bulundurulduğunda gemi kaptanının ve mürettebatın gemiyi en iyi şekilde abraması, seyredilecek suyunun karakteristiği ve akıntı durumu hakkında bilgi sahibi olunarak hazırlıklı olunması, manevra kararlarını verirken akıntı takibinin iyi yapılması ve akıntının hesaba katılması; şiddetli akıntı nedeniyle çatışma kazalarına yönelik alınabilecek önlemlerdendir.

Öne çıkan bir diğer kök neden olan sis gemi trafiğinin yoğun olduğu bu bölgelerde ciddi zorluklar yaratabilmektedir. Sis nedeniyle çatışma kazalarına önlemek için sis durumunda köprüüstü seyir yardımcılarını özellikle Radarı efektif kullanmak , gemi trafiğinin radar ile dikkatli takibini gerçekleştirmek etkili olabilir. Aynı zamanda sis durumunda verilmesi gereken uygun ses işaretlerini vermek, sis ile ilgili COLREG ve şirket prosedürlerini düzgün şekilde takip etmek de alınabilecek tedbirlerdendir.

Yoğun olan gemi trafiğinin de etkisiyle diğer gemilerin hatalı ya da yanlış yorumlanan hareketleri yoğun suyollarında çatışma kazasında diğer gemilerin hatası kök nedeninin öne çıkmasının sebeplerinden olabilir. Bu konuda alınabilecek önlemler gemi trafiğinin ve çevredeki gemilerin hareketlerinin dikkatli takibinin sağlanmasıdır.

Bir diğer öne çıkan kök neden olan şiddetli rüzgar gibi kötü hava koşullarıyla ilgili de seyredilecek yoğun suyollarına ait hava raporlarının sürekli takip edilerek rüzgar ve deniz durumlarına göre gemilerin hız ayarlarının uygun şekilde yapılması alınabilecek tedbirlerdir.

Gerçekleştirilen hata ağacı analizi sonucunda tüm kök nedenler arasında “Şirket prosedürlerinde eksiklik” kök nedeninin yoğun suyollarındaki çatışma kazasına etkisi en az olan kök neden olduğu belirlenmiştir. Şirket prosedürlerinin çoğunlukla yeterli olduğu, yetersiz olduğu durumlarda ise personelin deneyimi ve eğitimi, VTS’in müdahaleleri sayesinde bu eksikliğin giderildiği yorumu yapılabilir.

Bu çalışmanın yoğun suyollarında çatışmayı önleme ve emniyeti arttırma konularında katkı sağlayacağına inanılmaktadır. Geçmiş çalışmalarda çoğunlukla insan faktörüne odaklanılırken bu çalışmada hem insan hatasıyla ilişkili hem insan hatasıyla ilişkili olmayan kök nedenlerin ele alınmasının değerli bir katkı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte Singapur Boğazı’na ya da İstanbul Boğazı’na vb.

yönelik ayrı ayrı çalışmalar yapılsa da birden fazla yoğun su yoluna bir arada odaklanan bu çalışma literatüre değerli katkılar sunmaktadır.

İleriki çalışmalarda kök nedenler belirlenirken ele alınan yoğun su yollarının sayısı arttırılarak, karaya oturma gibi yoğun su yollarında yaşanabilecek ve ciddi sonuçları olabilecek diğer kaza türleri de analize dahil edilerek araştırma geliştirilebilir.



KAYNAKÇA

Ahn, S. Il, & Kurt, R. E. (2020). Application of a CREAM based framework to assess human reliability in emergency response to engine room fires on ships. *Ocean Engineering*. 216:1–15.

Ahn, Y. J., Yu, Y. U., & Kim, J. K. (2021). Accident cause factor of fires and explosions in tankers using fault tree analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*. 9(8):1-12.

Akhtar, M. J., & Bouwer Utne, I. (2015). Common patterns in aggregated accident analysis charts from human fatigue-related groundings and collisions at sea. *Maritime Policy and Management*. 42(2):186–206.

Akten, N. (2004). Analysis of shipping casualties in the bosphorus. *Journal of Navigation*. 57(3): 345–356.

Akyuz, E. ve Celik, M. (2015). Application of CREAM human reliability model to cargo loading process of LPG tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 34: 39–48.

Altan, Y. C., ve Otay, E. N. (2017). Maritime Traffic Analysis of the Strait of Istanbul based on AIS data. *Journal of Navigation*. 70(6):1367–1382.

Altan, Y. C., ve Otay, E. N. (2018a). Spatial mapping of encounter probability in congested waterways using AIS. *Ocean Engineering*. 164: 263–271.

Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık:Bulanıklık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik*. 62: 80–85.

Anantharaman, M., Islam, R., Garaniya, V., ve Khan, F. (2022). Efficiency, safety, and reliability analysis of turbocharging in a large container vessel. *Process Safety Progress*. 41(1):168–177.

Antão, P., ve Soares, G. (2006a). Fault-tree Models of Accident Scenarios of RoPax Vessels. *International Journal of Automation and Computing*. 2: 107–116.

Aqlan, F., ve Ebrahim, M. A. (2014). Integrating lean principles and fuzzy bow-tie analysis for risk assessment in chemical industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 29(1): 39–48.

Arıcı, S. S., Akyuz, E., ve Arslan, O. (2020a). Application of fuzzy bow-tie risk analysis to maritime transportation: The case of ship collision during the STS operation. *Ocean Engineering*. 217:1-10.

Arslan, Ö., Zorba, Y., ve 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): 3–16.

ATASOY, C. (2008). *İstanbul Boğazı'nda Yerel Trafiğin İncelenmesi*. (Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi). İstanbul:İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Awal, Z. I., ve Hasegawa, K. (2017). A study on accident theories and application to maritime accidents. *Procedia Engineering*. 194: 298–306.

Aydin, M., Akyuz, E., Turan, O., ve Arslan, O. (2021). Validation of risk analysis for ship collision in narrow waters by using fuzzy Bayesian networks approach. *Ocean Engineering*. 231: 108973–108987.

Aydin, M., Camliyurt, G., Akyuz, E., ve Arslan, O. (2021). Analyzing human error contributions to maritime environmental risk in oil/chemical tanker ship. *Human and Ecological Risk Assessment*. 27(7): 1838–1859.

Aydogdu, Y. V., Yurtoren, C., Park, J. S., ve Park, Y. S. (2012). A study on local traffic management to improve marine traffic safety in the Istanbul strait. *Journal of Navigation*. 65(1): 99–112.

Badida, P., Balasubramaniam, Y., ve Jayaprakash, J. (2019). Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 66: 284–292.

Baig, A. A., Ruzli, R., ve Buang, A. B. (2013). Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis: A Review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. (4)3: 169–173.

Barlow, R. E.. (1973). *Introduction To Fault Tree Analysis*. Springfield:National Technical Information Service.

Bateman, S., Ho, J., ve Mathai, M. (2007). Shipping patterns in the Malacca and Singapore straits: An assessment of the risks to different types of vessel. *Contemporary Southeast Asia*. 29(2): 309–332.

Bayazit, O., ve Kaptan, M. (2023). Evaluation of the risk of pollution caused by ship operations through bow-tie-based fuzzy Bayesian network. *Journal of Cleaner Production*. 382:1-15.

Bayazit, O., Toz, A. C., ve Buber, M. (2020). Spatial distribution analysis of ship accidents in the Çanakkale Strait, *Scientific Journals Zeszyty Naukowe of the Maritime University of Szczecin*.62:1-9.

Benítez, J. M., Martín, J. C., ve Román, C. (2007). Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry. *Tourism Management*. 28(2): 544–555.

Boryczko, K., Szpak, D., Żywiec, J., ve Tchórzewska-Cieślak, B. (2022a). The Use of a Fault Tree Analysis (FTA) in the Operator Reliability Assessment of the Critical Infrastructure on the Example of Water Supply System. *Energies*.15(12): 1–13.

Boryczko, K., Szpak, D., Żywiec, J., ve Tchórzewska-Cieślak, B. (2022b). The Use of a Fault Tree Analysis (FTA) in the Operator Reliability Assessment of the Critical Infrastructure on the Example of Water Supply System. *Energies*. 15(12):1-13.

Brooke, P. J., ve Paige, R. F. (2003). Fault Trees for Security System Design and Analysis. *Elsevier Computer&Security*. 22(3):256–264.

Budiyanto, M. A., ve Fernanda, H. (2020). Risk assessment of work accident in container terminals using the fault tree analysis method. *Journal of Marine Science and Engineering*. 8(6):1-19.

Bye, R. J., ve Aalberg, A. L. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering and System Safety*. 176: 174–186.

Calhoun, J., Savoie, C., Randolph-Gips, M., ve Bozkurt, I. (2014). Human reliability analysis in spaceflight applications, Part 2: Modified CREAM for spaceflight. *Quality and Reliability Engineering International*. 30(1): 3–12.

Celik, M., Lavasani, S. M., ve Wang, J. (2010). A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation. *Safety Science*. 48(1): 18–27.

Ceylan, B. O., Akyar, D. A., ve Celik, M. S. (2023). A novel FMEA approach for risk assessment of air pollution from ships. *Marine Policy*. 150:1-10

Chai, T., Weng, J., ve De-qi, X. (2017). Development of a quantitative risk assessment model for ship collisions in fairways. *Safety Science*. 91: 71–83.

Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., ve Langard, B. (2013a). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accident Analysis and Prevention*. 59: 26–37.

Che, H., Zeng, S., You, Q., Song, Y., ve Guo, J. (2021). A fault tree-based approach for aviation risk analysis considering mental workload overload. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 23(4): 646–658.

Chen, J., Di, Z., Shi, J., Shu, Y., Wan, Z., Song, L., ve Zhang, W. (2020). Marine oil spill pollution causes and governance: A case study of Sanchi tanker collision and explosion. *Journal of Cleaner Production*. 273:1-10.

Chen, S. J., ve Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*. Berlin:Springer.

Chen, S. M., ve Chen, J. H. (2009). Fuzzy risk analysis based on similarity measures between interval-valued fuzzy numbers and interval-valued fuzzy number arithmetic operators. *Expert Systems with Applications*. 36(3):6309–6317.

Chen, S. T., Wall, A., Davies, P., Yang, Z., Wang, J., ve Chou, Y. H. (2013). A Human and Organisational Factors (HOFs) analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA). *Safety Science*. 60:105–114.

Chen, Z., Zang, W., Dong, D., ve Lu, K. (2017). An extended CREAM by modified algorithm to human reliability quantification in marine engineering. *Annual Symposium on Reliability and Maintainability* (ss.1–5), Düzenleyen IEEE. Orlando. 23-26 Ocak 2017.

Dai, M. D. M., ve Schonfeld, P. (1998). Metamodels For Estimating Waterway Delays Through Series Of Queues, *Pergamon*.32(1):1-19.

Debnath, A. K., ve Chin, H. C. (2009). Hierarchical modeling of perceived collision risks in port fairways. *Transportation Research Record*. 2100: 68–75.

Debnath, A. K., ve Chin, H. C. (2010). Navigational traffic conflict technique: A proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters. *Journal of Navigation*. 63(1): 137–152.

Demirel, H. (2019). Prediction of Human Error Probability for Possible Gas Turbine Faults in Marine Engineering. *Journal of Eta Maritime Science*. 7(2): 151–163.

Demirel, H. (2020). An Evaluation of Human Error Probabilities for Critical Failures in Auxiliary Systems of Marine Diesel Engines. *Journal of Marine Science and Application*. 20: 128–137.

Dijkman, J. G., Van Haeringen, H., ve De Lange, S. J. (1983). Fuzzy Numbers. *Journal Of Mathematical Analysis And Applications*. 92: 301–341.

Dionysiou, K., Bolbot, V., ve Theotokatos, G. (2022). A functional model-based approach for ship systems safety and reliability analysis: Application to a cruise ship lubricating oil system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 236(1): 228–244.

Dominguez-Péry, C., Vuddaraju, L. N. R., Corbett-Etchevers, I., ve Tassabehji, R. (2021). Reducing maritime accidents in ships by tackling human error: a bibliometric review and research agenda. *Journal of Shipping and Trade*. 6(1): 1-32

D’Urso, P., ve Gastaldi, T. (2002). An “orderwise” polynomial regression procedure for fuzzy data. *Fuzzy Sets and Systems*. 130: 1–19.

Eğrisüt Tiryaki, A., ve Kazan Recep. (2007). Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi. *Mühendislik ve Makine*. 48(565): 1–13.

Elidolu, G., Akyuz, E., Arslan, O., ve Arslanoğlu, Y. (2022). Quantitative failure analysis for static electricity-related explosion and fire accidents on tanker vessels under fuzzy bow-tie CREAM approach. *Engineering Failure Analysis*. 131: 1–18.

EMSA, (2022). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents*. <https://www.emsa.europa.eu/accident-investigation-publications/annual-overview.html>, (18.08.2023)

Endrina, N., Rasero, J. C., ve Konovessis, D. (2018a). Risk analysis for RoPax vessels: A case of study for the Strait of Gibraltar. *Ocean Engineering*. 151: 141–151.

Endrina, N., Rasero, J. C., ve Konovessis, D. (2018b). Risk analysis for RoPax vessels: A case of study for the Strait of Gibraltar. *Ocean Engineering*, 151, 141–151.

Erdoğan, A. (2015). Hata Ağacı Analizi, Literatür Araştırması Ve Orta Ölçekli Bir İşletmede Uygulama. *Çalışma Dünyası Dergisi*. (3)2: 106–122.

Erol, S., Demir, M., Çetişli, B., ve Eyüboğlu, E. (2018). Analysis of Ship Accidents in the Istanbul Strait Using Neuro-Fuzzy and Genetically Optimised Fuzzy Classifiers. *Journal of Navigation*. 71(2): 419–436.

Essiz, B., ve Dagkiran, B. (2017). Accidental Risk Analyses of the Istanbul and Canakkale Straits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 95(4): 1-9

Fan, H., Enshaei, H., ve Jayasinghe, S. G. (2022). Human Error Probability Assessment for LNG Bunkering Based on Fuzzy Bayesian Network-CREAM Model. *Journal of Marine Science and Engineering*. 10(3): 1–21.

Fan, S., Blanco-Davis, E., Yang, Z., Zhang, J., ve Yan, X. (2020). Incorporation of human factors into maritime accident analysis using a data-driven Bayesian network. *Reliability Engineering and System Safety*. 203: 1–15.

Fan, S., Zhang, J., Blanco-Davis, E., Yang, Z., ve Yan, X. (2020). Maritime accident prevention strategy formulation from a human factor perspective using Bayesian Networks and TOPSIS. *Ocean Engineering*. 210: 1–12.

Felice, D. F., Petrillo, A., Carlomusto, A., ve Romano, U. (2013). Modelling application for cognitive reliability and error analysis method. *International Journal of Engineering and Technology*. (5)5: 4450–4464.

Feng, G. (2006). A survey on analysis and design of model-based fuzzy control systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 14(5): 676–697.

Ferguson, T. A., ve Lu, L. (2017). Fault Tree Analysis for an Inspection Robot in a Nuclear Power Plant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 235(1): 1–6.

Frey, B. S., Savage, D. A., ve Torgler, B. (2011). Behavior under extreme conditions: The titanic disaster. *Journal of Economic Perspectives*. 25(1): 209–222.

Fu, S., Goerlandt, F., ve Xi, Y. (2021). Arctic shipping risk management: A bibliometric analysis and a systematic review of risk influencing factors of navigational accidents. *Safety Science*. 139: 1-14.

Fu, S., Yan, X., Zhang, D., Li, C., ve Zio, E. (2016). Framework for the quantitative assessment of the risk of leakage from LNG-fueled vessels by an event tree-CFD. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 43: 42–52.

Gachlou, M., Roozbahani, A., ve Banihabib, M. E. (2019). Comprehensive risk assessment of river basins using Fault Tree Analysis. *Journal of Hydrology*. 577: 1–12.

Gibbard, P. L. (1995). The formation of the Strait of Dover. *Island Britain: A Quaternary Perspective Geological Society Special Publication*. 96: 15–27.

Gil, M., Wróbel, K., Montewka, J., ve Goerlandt, F. (2020). A bibliometric analysis and systematic review of shipboard Decision Support Systems for accident prevention. *Safety Science*. 128: 1–22.

Goerlandt, F., ve Kujala, P. (2011). Traffic simulation based ship collision probability modeling. *Reliability Engineering and System Safety*. 96(1): 91–107.

Golden, A. S., ve Weisbrod, R. E. (2016). Trends, Causal Analysis, and Recommendations from 14 Years of Ferry Accidents. *Journal of Public Transportation*. 19(1): 17–27.

Graziano, A., Teixeira, A. P., ve Guedes Soares, C. (2016). Classification of human errors in grounding and collision accidents using the TRACEr taxonomy. *Safety Science*. 86: 245–257.

Guan, Y., Zhao, J., Shi, T., ve Zhu, P. (2016). Fault tree analysis of fire and explosion accidents for dual fuel (diesel/natural gas) ship engine rooms. *Journal of Marine Science and Application*. 15(3): 331–335.

Gürgen, S., Yazır, D., ve Konur, O. (2023). Fuzzy fault tree analysis for loss of ship steering ability. *Ocean Engineering*. 279: 1-10.

Hasegawa, K., Hata, K., Niwa, K., ve Fukuto, J. (2009). 2008 8th International Conference on ITS Telecommunications : proceedings (ss.22-24), Düzenleyen: IEEE. Phuket. 22-24 Kasım 2008.

Hasegawa, K., ve Yamazaki, M. (2013). Qualitative and Quantitative Analysis of Congested Marine Traffic Environment – An Application Using Marine Traffic Simulation System. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 7(2): 179–184

Hauptmanns, U. (2010). A decision-making framework for protecting process plants from flooding based on fault tree analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. 95(9): 970–980.

He, X., Wang, Y., Shen, Z., ve Huang, X. (2008). A simplified CREAM prospective quantification process and its application. *Reliability Engineering and System Safety*. 93(2): 298–306.

Heilpern, S. (1997). Representation and application of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*. 91: 259–268.

Herrera, F., Herrera-Viedma, E., ve Martínez, L. (2008). A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 16(2): 354–370.

Hetherington, C., Flin, R., ve Mearns, K. (2006). Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*. 37(4): 401–411.

Hollnagel, E. (1998a). Chapter 1 The State of Human Reliability Analysis. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)* (pp. 1–21). Oxford: Elsevier.

Hollnagel, E. (1998b). Chapter 4 A Conceptual Framework. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)* (pp. 83–119). Oxford: Elsevier.

Hollnagel, E. (1998c). Chapter 6 CREAM- A Second Generation HRA Method. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)* (pp. 151–190). Oxford: Elsevier.

Hollnagel, E. (1998d). Chapter 9 The Quantification of Predictions. In *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)* (pp. 234–261). Oxford: Elsevier.

Hsu, H.-M., ve Chen, C.-T. (1996). Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*. 79: 279–285.

Hua, W., Chen, J., Qin, Q., Wan, Z., ve Song, L. (2021). Causation analysis and governance strategy for hazardous cargo accidents at ports: Case study of Tianjin Port's hazardous cargo explosion accident. *Marine Pollution Bulletin*. 173, 113053 : 1-11.

Huang, D., Chen, T., ve Wang, M.-J. J. (2001). A fuzzy set approach for event tree analysis. *Fuzzy Sets and Systems*. 118: 153–165.

Hyun, K. C., Min, S., Choi, H., Park, J., ve Lee, I. M. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 49: 121–129.

Imazu, H. (2017). Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 11(1): 65–70.

Inoue, K. (2000). Evaluation method of ship-handling difficulty for navigation in restricted and congested waterways. *Journal of Navigation*. 53(1): 167–180.

IMO (International Maritime Organization) (2002). *IMO Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) For Use In The Imo Rule-Making Process*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx>, (30.06.2023)

International Institute for Law of the Sea Studies. <http://iilss.net/navigational-regimes-of-particular-straits-malacca-and-singapore-case-study/>, (25.06.2023)

Jeong, B., Lee, B. S., ve Zhou, P. (2017). Quantitative risk assessment of fuel preparation room having high-pressure fuel gas supply system for LNG fuelled ship. *Ocean Engineering*. 137: 450–468.

John, A., ve Osue, U. J. (2017). Collision risk modelling of supply vessels and offshore platforms under uncertainty. *Journal of Navigation*. 70(4): 870–886.

Kabir, S., ve Papadopoulos, Y. (2018). A review of applications of fuzzy sets to safety and reliability engineering. *International Journal of Approximate Reasoning*. 100: 29–55.

Kaftan, İ., Balkan, E., ve Şalk, M. (2013). Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) & Jeofizikte Kullanım Alanları: Sismoloji Örneği. *Deü Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. (15)2: 15–29.

Kang, L., Meng, Q., Zhou, C., ve Gao, S. (2019). How do ships pass through L-shaped turnings in the Singapore strait? *Ocean Engineering*. 182: 329–342.

Kang, M. J., Zohoori, S., Hamidi, M., ve Wu, X. (2022). Study of narrow waterways congestion based on automatic identification system (AIS) data: A case study of Houston Ship Channel. *Journal of Ocean Engineering and Science*. 7(6): 578–595.

Kaptan, M. (2021). Risk assessment of ship anchorage handling operations using the fuzzy bow-tie method. *Ocean Engineering*. 236: 1-10.

Karamustafa, K., ve Yıldırım, M. (2007). Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 3: 56–92.

Karataş, F., Koyuncu, İ., Tuna, M., ve Alçın, M. (2020). Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonlarının FPGA Üzerinde Gerçeklenmesi. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*. 1(1): 1–9.

Kaushik, M., ve Kumar, M. (2022). An application of fault tree analysis for computing the bounds on system failure probability through qualitative data in intuitionistic fuzzy environment. *Quality and Reliability Engineering International*. 38(5): 2420–2444.

Kececi, T., ve Arslan, O. (2017). SHARE technique: A novel approach to root cause analysis of ship accidents. *Safety Science*. 96: 1–21.

KEGM (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü). www.coastalsafety.gov.tr (03.06.2023)

Keskenler, M. F., ve Keskenler, E. F. (2017). Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi. *Takvim-i Vekayi*. (5)1: 1–10.

Kılınç, M. S. (2008). *İnternet Sitesi Tasarımında Bulanık Kalite Fonksiyonu Yayılımının Uygulanması*. (Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kıyak, E., ve Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık Ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*. 1(2): 63–72.

Klir, G. J. (2001). Foundations of fuzzy set theory and fuzzy logic: A historical overview. *International Journal of General Systems*. 30(2): 91–132.

Knežević, V., Orović, J., Stazić, L., ve Čulin, J. (2020). Fault tree analysis and failure diagnosis of marine diesel engine turbocharger system. *Journal of Marine Science and Engineering*. 8(12): 1–19.

Kosiński, W., Prokopowicz, P., ve Ślęzak, D. (2003). Ordered Fuzzy Numbers. *Bulletin of The Polish Academy Of Sciences Mathematics*. 51(3): 327–339.

Kulkarni, K., Goerlandt, F., Li, J., Banda, O. V., ve Kujala, P. (2020). Preventing shipping accidents: Past, present, and future of waterway risk management with Baltic Sea focus. *Safety Science*. 129: 1–20.

Kum, S., ve Sahin, B. (2015a). A root cause analysis for Arctic Marine accidents from 1993 to 2011. *Safety Science*. 74: 206–220.

Kurumahmut, A. (2006). The Montreux Convention, The Turkish Straits and Black Sea. *The Turkish Straits* (pp. 16–22). İstanbul: Turkish Marine Research Foundation.

Kuzu, A. C., Akyuz, E., ve Arslan, O. (2019a). Application of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) to maritime industry: A risk analysing of ship mooring operation. *Ocean Engineering*. 179: 128–134.

Kuzu, A. C., Şenol, Y. E., ve Arslan, Ö. (2018). Fuzzy Fault Tree Analysis of Parted Rope Injuries During Mooring Operations. *Journal of ETA Maritime Science*. 6(3): 215–227.

Lambert, H. E. (1975). *Fault Trees For Decision-Making In Systems Analysis*. Berkeley: Lawrence Livermore National Lab.

Lavasani, M. R. M., Wang, J., Yang, Z., ve Finlay. (2011). Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines. *Int. J. Mar. Sci. Eng.* 1(1): 29–42.

Lavasani, S. M., Ramzali, N., Sabzalipour, F., ve Akyuz, E. (2015). Utilisation of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) for quantified risk analysis of leakage in abandoned oil and natural-gas wells. *Ocean Engineering*. 108: 729–737.

Lavasani, S. M., Zendegani, A., ve Celik, M. (2015). An extension to Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) application in petrochemical process industry. *Process Safety and Environmental Protection*. 93: 75–88.

Le, Y., Qiang, S., ve Liangfa, S. (2012). A novel method of analyzing quality defects due to human errors in engine assembly line. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* (ss. 154-157), Düzenleyen IEEE. Sanya. 20-21 Kasım 2012

Lee, P., Theotokatos, G., Boulougouris, E., ve Bolbot, V. (2023). Risk-informed collision avoidance system design for maritime autonomous surface ships. *Ocean Engineering*. 279: 1-20.

Lee, W., ve Lie, C. H. (1985). Fault Tree Analysis, Methods, and Applications-A Review. *Ieee Transactions On Reliability*. 34(3): 194–204.

Leekwijck, W. Van, ve Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*. 108: 159–178.

Li, Z., Zhu, X., Li, R., Liao, S., ve Gao, K. (2023). A comprehensive method for causation analysis of ship–ice collision risk in Arctic waters. *Environmental Science and Pollution Research*. 74: 1-17

Luo, M., ve Shin, S. U. N. G. H. O. (2019). Half-century research developments in maritime accidents: Future directions. *Accident Analysis and Prevention*. 123: 448–460.

Makajic-Nikolic, D., Petrovic, N., Belic, A., Rokvic, M., Radakovic, J. A., ve Tubic, V. (2016). The fault tree analysis of infectious medical waste management. *Journal of Cleaner Production*. 113: 365–373.

Marseguerra, M., Zio, E., ve Librizzi, M. (2006). Quantitative developments in the cognitive reliability and error analysis method (CREAM) for the assessment of human performance. *Annals of Nuclear Energy*. 33(10): 894–910.

Marsh, W., Bearfield, G. (2007). Representing Parameterised Fault Trees Using Bayesian Networks. *Computer Safety, Reliability, and Security* (ss. 100–122), Düzenleyen SAFECOMP. Nuremberg. 18-21 Eylül 2007.

McBratney, A. B., ve Odeh, I. O. A. (1997). Application of fuzzy sets in soil science fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma*. 77: 85–113.

Md Hanafiah, R., Zainon, N. S., Karim, N. H., Abdul Rahman, N. S. F., Behforouzi, M., ve Soltani, H. R. (2022). A new evaluation approach to control maritime transportation accidents: A study case at the Straits of Malacca. *Case Studies on Transport Policy*. 10(2): 751–763.

Mentes, A., ve Helvacioğlu, I. H. (2011). An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems. *Ocean Engineering*. 38(2–3): 285–294.

Milioulis, K., Bolbot, V., ve Theotokatos, G. (2021). Model-based safety analysis and design enhancement of a marine LNG fuel feeding system. *Journal of Marine Science and Engineering*. 9(1): 1–25.

Mitomo, N., Hikida, K., Yoshimura, K., Nishizaki, C., ve Takemoto, T. (2012). Common performance condition for marine accident - Experimental approach. *International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology* (ss. 100-104). Düzenleyen IEEE. Himeji. 5-7 Kasım 2012.

Moyer, R. C. (2014). “When that great ship went down”: Modern maritime disasters and collective memory. *International Journal of Maritime History* . 26(4): 734–751.

Nieto-Morote, A., ve Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*. 29(2): 220–231.

Nwaoha, T. C., Yang, Z., Wang, J., ve Bonsall, S. (2013). Adoption of new advanced computational techniques to hazards ranking in LNG carrier operations. *Ocean Engineering*. 72: 31–44.

Onisawa, T. (1988). An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility. *Fuzzy Sets and Systems*. 27: 87–103.

Ortmeier, F., ve Schellhorn, G. (2007). Formal Fault Tree Analysis - Practical Experiences. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. 185(Spec. Iss.): 139–151.

Oruc, M. F., ve Altan, Y. C. (2023). Risky Maritime Encounter Patterns via Clustering. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11(5): 1-17.

Özlem, Ş., Or, I., ve Altan, Y. C. (2021). Scheduling and simulation of maritime traffic in congested waterways: An application to the Strait of Istanbul. *Journal of Navigation*, 74(3), 656–672.

Ozsoysal, R., ve Ozsoysal, O. A. (2006). Maritime casualties through the Bosphorus. *Naval Engineers Journal*. 118(1): 77–82.

Ozturk, U., ve Cicek, K. (2019). Individual collision risk assessment in ship navigation: A systematic literature review. *Ocean Engineering*. 180: 130–143.

Patil, R. B., Waghmode, L. Y., Chikali, P. B., ve Mulla, T. S. (2009). An Overview of Fault Tree Analysis (FTA) Method for Reliability Analysis ve Life Cycle Cost (LCC) Management. *IOSR Journal of Mechanical ve Civil Engineering*. 25(3): 14–18.

Pedersen, E., Inoue, K., ve Tsugane, M. (2003a). Simulator studies on a collision avoidance display that facilitates efficient and precise assessment of evasive manoeuvres in congested waterways. *Journal of Navigation*. 56(3): 411–427.

Perez, A. R., Antonio, C. A. T., ve Consunji, R. J. (2011). The Sinking of MV Dona Paz – A Critique on Maritime Disaster Preparedness in the Philippine: Policy Implications. *Acta Medica Philippina*. 45(3): 33–37.

Periáñez, R. (2004). A particle-tracking model for simulating pollutant dispersion in the Strait of Gibraltar. *Marine Pollution Bulletin*. 49(7–8): 613–623.

Psarros, G., Skjong, R., ve Eide, M. S. (2010). Under-reporting of maritime accidents. *Accident Analysis and Prevention*. 42(2): 619–625.

Qiao, W., Guo, H., Huang, E., Deng, W., Lian, C., ve Chen, H. (2022). Human-Related Hazardous Events Assessment for Suffocation on Ships by Integrating Bayesian Network and Complex Network. *Applied Sciences (Switzerland)*. 12(14): 1-21.

Qiao, W., Liu, Y., Ma, X., ve Liu, Y. (2020). A methodology to evaluate human factors contributed to maritime accident by mapping fuzzy FT into ANN based on HFACS. *Ocean Engineering*. 197: 1-18

Qu, X., ve Meng, Q. (2012). Development and applications of a simulation model for vessels in the Singapore Straits. *Expert Systems with Applications*. 39(9): 8430–8438.

Qu, X., Meng, Q., ve Li, S. (2012). Analyses and implications of accidents in singapore strait. *Transportation Research Record*. 2273: 106–111.

Qu, X., Meng, Q., ve Suyi, L. (2011a). Ship collision risk assessment for the Singapore Strait. *Accident Analysis and Prevention*. 43(6): 2030–2036.

Rodriguez, R. M., Martinez, L., ve Herrera, F. (2012). Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 20(1): 109–119.

Rudolph, F. (2016). *Multimodal Analysis Methodology of Urban Road Transport Network Performance*. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents>, (28.08.2023)

Ruijters, E., ve Stoelinga, M. (2015a). Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer Science Review*. 15: 29–62.

Sakar, C., Toz, A. C., Buber, M., ve Koseoglu, B. (2021). Risk Analysis Of Grounding Accidents By Mapping A Fault Tree Into A Bayesian Network. *Applied Ocean Research*. 113: 1-12

Saputra, H., Satoto, W., ve Koto, J. (2015). Estimation Of Exhaust Ship Emission From Marine Traffic In The Straits Of Singapore And Batam Waterways Using Automatic Identification System (AIS) Data. *Jurnal Teknologi*. 77: 47-53.

Sarialioğlu, S., Uğurlu, Ö., Aydın, M., Vardar, B., ve Wang, J. (2020). A hybrid model for human-factor analysis of engine-room fires on ships: HFACS-PV& FFTA. *Ocean Engineering*. 217: 1-19.

Senol, Y. E., Aydogdu, Y. V., Sahin, B., ve Kilic, I. (2015). Fault Tree Analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*. 42(12): 5232–5244.

Senol, Y. E., ve Sahin, B. (2016). A novel Real-Time Continuous Fuzzy Fault Tree Analysis (RC-FFTA) model for dynamic environment. *Ocean Engineering*. 127: 70–81.

Shadiah, H. M., Arshad, A., Khalil Mohamed, A. R., ve Olagoke, O. (2019). Integration of fault tree and importance measure for toxic prevention barrier. *E3S Web of Conferences*. 90: 1–7.

Shalev, D. M., ve Tiran, J. (2007). Condition-based fault tree analysis (CBFTA): A new method for improved fault tree analysis (FTA), reliability and safety calculations. *Reliability Engineering and System Safety*. 92(9): 1231–1241.

Shan, X., Liu, K., ve Sun, P. L. (2017). Risk Analysis on Leakage Failure of Natural Gas Pipelines by Fuzzy Bayesian Network with a Bow-Tie Model. *Scientific Programming*. 2017: 1–11.

Shi, X., Zhuang, H., ve Xu, D. (2021). Structured survey of human factor-related maritime accident research. *Ocean Engineering*. 237: 1-13.

Simsir, U., Amasyali, M. F., Bal, M., Çelebi, U. B., ve Ertugrul, S. (2014). Decision support system for collision avoidance of vessels. *Applied Soft Computing Journal*. 25: 369–378.

Sökükçü, M. (2021a). *Gemiden Gemiye Tanker Transfer Operasyonları Ve Risk Analizi: Olasılıksal Yaklaşım*.(Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir:Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sokukcu, M., ve Sakar, C. (2022). Risk analysis of collision accidents during underway STS berthing maneuver through integrating fault tree analysis (FTA) into Bayesian network (BN). *Applied Ocean Research*. 126: 1-12.

Sørensen, F. F., Von Benzon, M., Pedersen, S., Liniger, J., ve Mai, C. (2022). Fault Tree Analysis of Sensor Technologies for Autonomous UUV Navigation. *IFAC-PapersOnLine*. 55(31): 484–490.

Sotiralis, P., Ventikos, N. P., Hamann, R., Golyshev, P., ve Teixeira, A. P. (2016). Incorporation of human factors into ship collision risk models focusing on human centred design aspects. *Reliability Engineering and System Safety*. 156: 210–227.

Statheros, T., Howells, G., ve McDonald-Maier, K. (2008). Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques. *Journal of Navigation*. 61(1): 129–142.

Ta, T. Van, Vu, N. H., Triet, M. A., Thien, D. M., ve Cang, V. T. (2017). Assesment of Marine Propulsion System Reliability Based on Fault Tree Analysis. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*. 2(4): 55–61.

Tarelko, W. (2012). Origins of ship safety requirements formulated by International Maritime Organization. *Procedia Engineering*. 45: 847–856.

Tatlısuoğulları, A. (2008). *Çanakkale Boğazı Deniz Kazaları*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

Tekin, N., ve Karanfil, S. (1995). Fuzzy Mantık. *Öneri*. 1(2): 3–15.

Temel, B. (2022). *Risk Assessment Of Coal Cargo Operations In Maritime Transportation: Probabilistic Approach*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Töz, A., Büber, M., Köseoğlu, B., ve Şakar, C. (2022). Analysis Of Collision Accidents in Maritime Transportation by FTA Method. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*. 8(1): 15–30.

Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F., ve Grande, O. (2008). A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*. 93(6): 845–856.

Tsymbol, M. (2007). Method of Synthesis of Flexible Strategies for Preventing Collisions. *TRANSNAV-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 1(3): 305-310.

Tunçel, A. L., Beşikçi, E. B., Akyuz, E., ve Arslan, O. (2023). Safety analysis of fire and explosion (FveE) accidents risk in bulk carrier ships under fuzzy fault tree approach. *Safety Science*. 158: 1-10.

Tunçel, A. L., Yüksekıyıldız, E., Akyuz, E., ve Arslan, O. (2023a). Probability-based extensive quantitative risk analysis: collision and grounding case studies for bulk carrier and general cargo ships. *Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs*. 15(1): 89–105.

UAB (T.C. Ulaştırma ve Altyapı bakanlığı).
<https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/turk-bogazlari-gemi-gecis-istatistikleri>,
(05.09.2023)

Uflaz, E., Akyuz, E., Arslan, O., Gardoni, P., Turan, O., ve Aydin, M. (2023a). Analysing human error contribution to ship collision risk in congested waters under the evidential reasoning SPAR-H extended fault tree analysis. *Ocean Engineering*. 287: 1–11.

Uğurlu, H., ve Cicek, I. (2022). Analysis and assessment of ship collision accidents using Fault Tree and Multiple Correspondence Analysis. *Ocean Engineering*. 245: 1–17.

Uğurlu, Ö., Erol, S., ve Başar, E. (2016). The analysis of life safety and economic loss in marine accidents occurring in the Turkish Straits. *Maritime Policy and Management*. 43(3): 356–370.

Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U., ve Yüksekşildiz, E. (2015a). Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method. *Maritime Policy and Management*. 42(2): 163–185.

Uğurlu, Ö., Yıldız, S., Loughney, S., ve Wang, J. (2018). Modified human factor analysis and classification system for passenger vessel accidents (HFACS-PV). *Ocean Engineering*. 161: 47–61.

Ulusçu, Ö. S., Özbaş, B., Altıok, T., ve Or, İ. (2009). Risk analysis of the vessel traffic in the strait of Istanbul. *Risk Analysis*. 29(10): 1454–1472.

Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü. (2018).

Üney, İ. (2017). *Modern Ve Klasik Optimizasyon Yöntemlerinin Entomolojide Yeni Bir Uygulaması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Isparta:Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ung, S. T. (2015a). A weighted CREAM model for maritime human reliability analysis. *Safety Science*. 72: 144–152.

Ung, S. T. (2018). Human error assessment of oil tanker grounding. *Safety Science*. 104: 16–28.

Ung, S. T. (2019). Evaluation of human error contribution to oil tanker collision using fault tree analysis and modified fuzzy Bayesian Network based CREAM. *Ocean Engineering*. 179: 159–172.

Ünver, B., Gürgen, S., Sahin, B., ve Altın, İ. (2019a). Crankcase explosion for two-stroke marine diesel engine by using fault tree analysis method in fuzzy environment. *Engineering Failure Analysis*. 97: 288–299.

Vesely W. E., Goldberg F. F., Roberts N. H. ve Haasl, D. F. (1981). Fault tree handbook. Washington: Nuclear Regulatory Commission.

Vidmar, P., ve Perkovič, M. (2018). Safety assessment of crude oil tankers. *Safety Science*. 105: 178–191.

Vinnem, J.-E. (2014). *Offshore Risk Assessment Vol 1*. London:Springer.

Walker, M., ve Papadopoulos, Y. (2009). Qualitative temporal analysis: Towards a full implementation of the Fault Tree Handbook. *Control Engineering Practice*. 17(10): 1115–1125.

Wang, D., Zhang, P., ve Chen, L. (2013). Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 26(6): 1390–1398.

Wang, L., Wang, J., Shi, M., Fu, S., ve Zhu, M. (2021). Critical risk factors in ship fire accidents. *Maritime Policy and Management*. 48(6): 895–913.

Wang, L., ve Yang, Z. (2018). Bayesian network modelling and analysis of accident severity in waterborne transportation: A case study in China. *Reliability Engineering and System Safety*. 180: 277–289.

Wang, T., Wu, Q., Diaconeasa, M. A., Yan, X., ve Mosleh, A. (2020). On the use of the hybrid causal logic methodology in ship collision risk assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*. 8(7): 1-23.

Wang, X., Xia, G., Zhao, J., Wang, J., Yang, Z., Loughney, S., Fang, S., Zhang, S., Xing, Y., ve Liu, Z. (2023). A novel method for the risk assessment of human evacuation from cruise ships in maritime transportation. *Reliability Engineering and System Safety*. 230: 1-17.

Wells, P. G. (2017). The iconic Torrey Canyon oil spill of 1967 - Marking its legacy. *Marine Pollution Bulletin* 115(1–2), 1–2.

Weng, J., Meng, Q., ve Qu, X. (2012). Vessel collision frequency estimation in the Singapore Strait. *Journal of Navigation*. 65(2): 207–221.

World Atlas. <https://www.worldatlas.com/straits/> 1 , (23.05.2023).

Wróbel, K. (2021). Searching for the origins of the myth: 80% human error impact on maritime safety. *Reliability Engineering and System Safety*. 216: 1–12.

Wu, B., Yan, X., Wang, Y., ve Soares, C. G. (2017). An Evidential Reasoning-Based CREAM to Human Reliability Analysis in Maritime Accident Process. *Risk Analysis*. 37(10): 1936–1957.

Wu, W., Cheng, G., Hu, H., ve Zhou, Q. (2013). Risk analysis of corrosion failures of equipment in refining and petrochemical plants based on fuzzy set theory. *Engineering Failure Analysis*. 32: 23–34.

Xi, Y. T., Yang, Z. L., Fang, Q. G., Chen, W. J., ve Wang, J. (2017). A new hybrid approach to human error probability quantification–applications in maritime operations. *Ocean Engineering*. 138: 45–54.

Xing, L., ve Amari, S. V. (2008). Handbook of Performability Engineering. In *Handbook of Performability Engineering*. London:Springer.

Yang, Z., Abujaafar, K. M., Qu, Z., Wang, J., ve Nazir, S. (2019). Use of evidential reasoning for eliciting bayesian subjective probabilities in human reliability analysis: A maritime case. *Ocean Engineering*. 186: 1–13.

Yang, Z. L., Bonsall, S., Wall, A., Wang, J., ve Usman, M. (2013). A modified CREAM to human reliability quantification in marine engineering. *Ocean Engineering*. 58: 293–303.

Yazdi, M., Mohammadpour, J., Li, H., Huang, H. Z., Zarei, E., Pirbalouti, R. G., ve Adumene, S. (2023). Fault tree analysis improvements: A bibliometric analysis and literature review. *Quality and Reliability Engineering International*. 39: 1639-1658.

Yazdi, M., Nikfar, F., ve Nasrabadi, M. (2017). Failure probability analysis by employing fuzzy fault tree analysis. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 8: 1177–1193

Yildiz, S., Tonoğlu, F., Uğurlu, Ö., Loughney, S., ve Wang, J. (2022). Spatial and Statistical Analysis of Operational Conditions Contributing to Marine Accidents in the Singapore Strait. *Journal of Marine Science and Engineering*. 10(12): 1–16.

Yildiz, S., Uğurlu, Ö., Loughney, S., Wang, J., ve Tonoğlu, F. (2022). Spatial and statistical analysis of operational conditions influencing accident formation in narrow waterways: A Case Study of Istanbul Strait and Dover Strait. *Ocean Engineering*. 265: 1–15.

Yoshimura, K., ve Takemoto, T. (2015). The Support for using the Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM) for Marine Accident Investigation. *International Conference on Informatics, Electronics & Vision* (ss. 1-4), Düzenleyen IEEE 1–4. Fukuoka. 15-18 Temmuz 2015.

Yuan, W., ve Gao, P. (2022). Model Predictive Control-Based Collision Avoidance for Autonomous Surface Vehicles in Congested Inland Waters. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1–15.

Yurt, A., ve Şakar, C. (2023). The Bibliometric Analysis and Visualization Mapping of Research on Maritime Accidents. *Marine Science and Technology Bulletin*. 12(1): 93–103.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. 8(3): 338–353.

Zaib, A., Yin, J., ve Khan, R. U. (2022). Determining Role of Human Factors in Maritime Transportation Accidents by Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA). *Journal of Marine Science and Engineering*. 10(3): 1-14.

Zaman, M. B. (2016). Study on Safety of Navigation Using Automatic Identification System for Marine Traffic area Case Study: Malacca Straits. *Int. J. of Marine Engineering Innovation and Research*. 1(1): 2541–5972.

Zaman, M. B., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Khanfir, S., Pitana, T., ve Maimun, A. (2014a). Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: Based on AIS data. *Journal of Simulation*. 8(1): 91–104.

Zhan, Y., Xu, F., ve Zhang, Y. (2009). The application of HAZOP analysis on risk assessment of the 10000TEU container ships. *International Asia Symposium on Intelligent Interaction and Affective Computing* (ss.59–62), Düzenleyen IEEE. Wuhan. 8-9 Aralık 2009.

Zhang, M., Zhang, D., Goerlandt, F., Yan, X., ve Kujala, P. (2019). Use of HFACS and fault tree model for collision risk factors analysis of icebreaker assistance in ice-covered waters. *Safety Science*. 111: 128–143.

Zhang, R., Tan, H., ve Afzal, W. (2020). A modified human reliability analysis method for the estimation of human error probability in the offloading operations at oil terminals. *Process Safety Progress*. 40(3): 84–92.

Zhao, C., Wu, B., Yip, T. L., ve Lv, J. (2021). Use of fuzzy fault tree analysis and noisy-or gate bayesian network for navigational risk assessment in qingzhou port. *TransNav*. 15(4): 765–771.

Zhao, C., Yip, T. L., Wu, B., ve Lyu, J. (2022). Use of fuzzy fault tree analysis and Bayesian network for occurrence likelihood estimation of navigational accidents in the Qinzhou Port. *Ocean Engineering*. 263: 1-13.

Zhao, L., ve Liu, S. (2020). Retrospective Analysis of Amusement Rides Accidents Based on Cognitive Reliability and Error Analysis Method. *7th International Conference on Industrial Engineering and Applications* (ss. 1088–1092), Düzenleyen IEEE. Bangkok. 16-21 Nisan 2020.

Zhao, L., ve Roh, M. Il. (2019). COLREGs-compliant multiship collision avoidance based on deep reinforcement learning. *Ocean Engineering*. 191: 1-15

Zhou, Q., Wong, Y. D., Loh, H. S., ve Yuen, K. F. (2018). A fuzzy and Bayesian network CREAM model for human reliability analysis – The case of tanker shipping. *Safety Science*. 105(1): 149–157.

Zhou, T., Wu, C., Zhang, J., ve Zhang, D. (2017). Incorporating CREAM and MCS into fault tree analysis of LNG carrier spill accidents. *Safety Science*. 96: 183–191.

Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*. 177(2): 176–190





EKLER

EK 1 : CREAM Uygulamasına Yönelik Soru Formu

Lütfen aşağıdaki soruları cevaplayınız ve tablolarda sizce uygun olan seviye/tanımlayıcıyı işaretleyiniz.

Kaç yıldır uzak yol kaptan yeterliliğine sahipsiniz?

Kaç yıldır kılavuz kaptan yeterliliğine sahipsiniz?

BU KÖK NEDENDE:

Ortak Performans Koşulu (CPC)	Seviye/Tanımlayıcılar	Etkiler (Güvenilirlik üzerindeki)
Organizasyonun(şirket vb) yeterliliğinin etkisi nasıldır?	Çok etkili(very efficient) Etkili (efficient) Etkisiz (inefficient) Yetersiz (deficient)	Geliştirilmiş-İmproved Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced Azaltılmış-Reduced
Çalışma şartlarının etkisi nasıldır?	Avantajlı(advantageous) Uyumlu (compatible) Uyumsuz (incompatible)	Geliştirilmiş-İmproved Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced
İnsan Makine arayüzünün yeterliliği ve operasyonel desteğin etkisi nasıldır?	Destekleyici (supportive) Yeterli (adequate) Tolere Edilebilir (tolerable) Uygun Olmayan (Inappropriate)	Geliştirilmiş-İmproved Önemli etkisi olmamış- Not significant Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced
Prosedürlerin/planların mevcudiyeti nasıldır?	Uygun (Appropriate) Kabul edilebilir (Acceptable) Uygun Olmayan (Inappropriate)	Geliştirilmiş-İmproved Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced
Bunun gerçekleşmesi sırasında görevli zabitin/kaptanın eş zamanlı hedef sayısı sizce nasıldır?	Kapasiteden az Eşleşen mevcut kapasite Kapasiteden fazla	Önemli etkisi olmamış- Not significant Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced
Bunun gerçekleşmesi sırasında kullanılabilir zamanın durumu sizce nasıldır?	Yeterli Geçici olarak yetersiz Sürekli yetersiz	Geliştirilmiş-İmproved Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced

Bunun gerçekleşmesi sırasında gece olmasının olumsuz bir etkisi olduğunu düşünüyorsanız 'gece' yi işaretleyin.	Gündüz Gece	Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced
Bunun gerçekleşmesiyle ilişkili zabitan/kaptanın eğitim ve deneyimin yeterliliği sizce nasıldır?	Yeterli, yüksek tecrübe Yeterli, sınırlı tecrübe Yetersiz	Geliştirilmiş-Improved Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced
Bu kök nedende ekibin işbirliği kalitesi sizce nasıldır?	Çok etkili(very efficient) Etkili (efficient) Etkisiz (inefficient) Yetersiz (deficient)	Geliştirilmiş-Improved Önemli etkisi olmamış- Not significant Önemli etkisi olmamış- Not significant Azaltılmış-Reduced

BU KÖK NEDEN SİZCE HANGİ BİLİŞSEL FONKSİYON VE HATA TİPİYLE İLİŞKİLİ LÜTFEN İŞARETLEYİNİZ.

Bilişsel Fonksiyon	Genel Hata Tipi
Gözlem	O1. Yanlış nesneyi gözlem O2. Yanlış tanımlama O3. Gözlem yapılmaması
Yorumlama	I1. Hatalı teşhis I2. Karar hatası I3. Gecikmeli yorumlama
Planlama	P1.Öncelik hatası P2.Yetersiz plan
Uygulama	E1. Yanlış türdeki eylem E2. Yanlış zamanda eylem E3. Yanlış nesneye ilişkin eylem E 4. Sıraya uymayan eylem E5. Kaçırılan eylem

EK 2:Bulanık Mantık Uygulamasına Yönelik Soru Formu

		Çok Düşük Very Low	Düşük Low	Az Düşük Midly Low	Orta Medium	Az Yüksek Midly High	Yüksek High	Çok Yüksek Very High
E22	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının ana makine arızasından dolayı olma olasılığı nedir?							
E23	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının dümen arızasından dolayı olma olasılığı nedir??							
E24	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının seyir yardımcılarının arızalanmasından dolayı olma olasılığı nedir?							
E25	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının şirket prosedürlerinde eksiklikten dolayı olma olasılığı nedir?							
E26	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının sisten kaynaklı olma olasılığı nedir?							
E27	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının şiddetli akıntıdan dolayı olma olasılığı nedir?							
E28	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının şiddetli rüzgardan dolayı olma olasılığı nedir?							
E29	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının kanaldaki/boğazdaki arka plan ışıklarından/objelerinden dolayı olma olasılığı nedir?							
E30	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının gece seyrinin sonucu olma olasılığı nedir?							
E31	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının boğazdaki/kanaldaki şamandıranın kayıp/eksik oluşundan olma olasılığı nedir?							
E32	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının kanaldaki/boğazdaki çatışan iki gemi dışındaki diğer gemilerin hatasından dolayı olma olasılığı nedir?							
E33	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının yetersiz VTS yönetiminden dolayı olma olasılığı nedir?							
E34	Yoğun suyollarında yaşanan çatışma kazalarının VTS takip hatasının sonucu olma olasılığı nedir?							

EK 3: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan Alınan İlgili Etik Kurulu Belgesi

HİZMETE ÖZEL



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
HUKUK MÜŞAVİRLİĞİ

Sayı : E-87347630-659-666944

20.07.2023

Konu : Etik Kurul İzni- Ayyüce YURT

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : 05.07.2023 tarihli 646705 sayılı yazımız.

İlgide kayıtlı yazımız ile bildirilen başvuru, Üniversitemiz Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulunun 18/07/2023 tarihli toplantısında değerlendirilmiş ve toplantıda alınan 1 sayılı karar ile Ayyüce YURT'un Dr.Öğr.Üyesi Cenk ŞAKAR danışmanlığında yürüteceği, "**Yoğun Suyollarında Gemi Çatışma Kazalarının Risk Analizi**" başlıklı çalışmasının etik açıdan uygun olduğuna karar verilmiş olup, alınan karar Makamımızca onaylanmıştır.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Nükhet HOTAR
Rektör

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: 82F5EFF0-34A6-4ACC-9C9B-2F8C7461CCA8 Doğrulama Adresi: <https://turkiye.gov.tr/dokuz-eyul-universitesi-ebys>

Adres: Kültür Mahallesi, Cumhuriyet Biv No:144, 35220 Konak/İzmir

KEP Adresi : dokuzeyuluniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için:Pelin ALTIN

Memur

Telefon No:(232) 412 11 93



HİZMETE ÖZEL