

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**EMNİYETLİ GEMİ OPERASYONLARI İÇİN HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ
ANALİZİ (FMEA)'NE DAYALI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Serap GÖKSU

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

MART 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**EMNİYETLİ GEMİ OPERASYONLARI İÇİN HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ
ANALİZİ (FMEA)'NE DAYALI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Serap GÖKSU
(512142006)**

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özcan ARSLAN

MART 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 512142006 numaralı Doktora Öğrencisi Serap GÖKSU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “EMNİYETLİ GEMİ OPERASYONLARI İÇİN HATA TURLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)’NE DAYALI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Özcan ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Serap İNCAZ**
Kırklareli Üniversitesi

Doç. Dr. Emre AKYÜZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şengül ŞANLIER
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Elif BAL BEŞİKÇİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 06 Şubat 2021
Savunma Tarihi : 08 Mart 2021





Anneme ithafen,



ÖNSÖZ

Doktora öğrenimim süresince her türlü konuda desteğini esirgemeyen, tüm bilgilerini paylaşmaktan kaçınmayan, bu tezin kurgulanmasında ve tamamlanmasında büyük emeği olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Özcan ARSLAN'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezi çalışmalarına başladığım andan itibaren, araştırma konusu çerçevesi kapsamındaki yapıcı yorumları ile katkılarından dolayı saygıdeğer tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Serap İNCAZ'a ve Doç. Dr. Emre AKYÜZ'e minnet ve şükranlarımı sunarım. Teknik konularda bilgilerini paylaşan mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Son olarak, hayatımın her anında yanımda olan, varlığı ile sağladığı manevi güç için canım anneme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2021

Serap GÖKSU
(Yüksek Deniz Ulaştırma Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı.....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1 Denizcilik ve Risk Değerlendirmesi.....	5
2.2 Gemi Operasyonel Süreç Odaklı Risk Değerlendirmesi.....	5
2.3 Biçimsel Emniyet Değerlendirmesi.....	6
3. DİNAMİK RİSK DEĞERLENDİRME SÜRECİ.....	9
3.1 Kavramsal Çerçeve.....	9
3.2 Dinamik Risk Değerlendirmesi	9
3.3 Dinamik Risklerin Değerlendirilmesi İçin Ön-Veri Toplama Çalışması.....	11
3.4 Dinamik Risk Değerlendirmesi	13
3.5 Dinamik Risk Değerlendirme Teknikleri	36
4. DİNAMİK RİSK DEĞERLENDİRME TEKNİĞİ ÖNERİSİ İÇİN YÖNTEMSEL YAKLAŞIM SÜRECİ.....	41
4.1 Yöntem Hakkında Genel Bilgiler	41
4.2 Yöntemsel Çerçeve.....	45
4.3 Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA).....	46
4.4 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Kavramı.....	50
4.5 FMEA için Kural Tabanlı Uzman Sistemler	53
4.5.1 Kural tabanı mekanizması.....	54
4.5.2 Bulanıklaştırma	54
4.5.3 Çıkarım motoru	54
4.5.4 Bulanık sayılarda sıralama	56
4.5.5 Durulaştırma.....	56
5. DENİZCİLİK ENDÜSTRİSİ UYGULAMASI.....	59
5.1 Problemin Tanımı.....	59
5.2 Katılımcıların Analizi.....	61
5.3 Bulanık FMEA Uygulaması	69
5.4 Bulanık FMEA ile Tespit Edilen Risk Faktörlerinin ve Risk Öncelik Sayılarının Değerlendirilmesi.....	74
5.5 Risk Kontrol Seçeneklerinin Belirlenmesi	80

5.6 Etkin Düzenleyici ve Önleyici Faaliyetlerin Oluşturulması ve Sorumluların Belirlenmesi.....	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	89
EKLER.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	119



KISALTMALAR

BS	: Beyin Fırtınası
BWMP	: Ballast Water Management Plan
COLREG	: Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü
DPA	: Designated Person Ashore
DRA	: Dinamik Risk Değerlendirmesi
FMEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
FRPN	: Bulanık Risk Öncelik Sayısı
FSA	: Formal Safety Assessment
FM	: Hata Türü
HSFO	: Heavy sulphur fuel oil
IMO	: International Maritime Organization
ISM Kod	: International Safety Management Code
LSFO	: Low sulphur fuel oil
MARPOL	: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MEPC	: Deniz Çevre Koruma Komitesi
MLC	: Denizcilik Çalışma Sözleşmesi (Maritime Labour Convention)
MSC	: Deniz Güvenliği Komitesi
ODME	: Oil Discharge Monitoring System
PSSA	: Özel Duyarlı Deniz Alanları (Particularly Sensitive Sea Area)
RPN	: Risk Öncelik Sayısı (Risk Priority Number)
SPSS	: Sosyal Bilimler için İstatistiksel Paket Programı
STCW	: Standards of Training Certification and Watchkeeping
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)



SEMBOLLER

μ	: Üyelik Derecesi
O	: Meydana gelme
S	: Şiddet
D	: Saptanabilirlik
R_i	: Kural Numarası
K	: Toplam Kural Sayısı
O_i, S_i, D_i	: Bulanık Kümeler
o, s, d	: Girdiyi temsil eden öncü değişkenler
α_i	: k kuralının aktivasyon ağırlığı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Dinamik risk faktörleri	10
Çizelge 3.2 : Güvenilirlik istatistik değeri	12
Çizelge 3.3 : Tüm operasyonlar için cronbach alpha değeri	13
Çizelge 3.4 : Görüş durumu için risk faktörü ortalaması	13
Çizelge 3.5 : Hava durumu için risk faktörü ortalaması	17
Çizelge 3.6 : Geminin bulunduğu konum için risk faktörü ortalaması	22
Çizelge 3.7 : Operasyonun yapıldığı zaman için risk faktörü ortalaması	27
Çizelge 3.8 : Akıntı hızı için risk faktörü ortalaması	28
Çizelge 3.9 : Gelgit durumu için risk faktörü ortalaması	30
Çizelge 3.10 : Trafik yoğunluğu için risk faktörü ortalaması	32
Çizelge 3.11 : Seyir bölgesi için risk faktörü ortalaması	33
Çizelge 3.12 : Operasyonun yapıldığı yer için risk faktörü ortalaması	33
Çizelge 3.13 : Gemi türleri için risk faktörü ortalaması	34
Çizelge 3.14 : Gemi boyutu için risk faktörü ortalaması	35
Çizelge 3.15 : Risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması	39
Çizelge 4.1 : Meydana gelme değerlendirme elemanının olasılığı ve derecesi	47
Çizelge 4.2 : Şiddet değerlendirme elemanının olasılığı ve derecesi	47
Çizelge 4.3 : Saptanabilirlik değerlendirme elemanının olasılığı ve derecesi	48
Çizelge 5.1 : Gemi operasyonlarını etkileyen dinamik risk faktörleri	59
Çizelge 5.2 : Uzmanların özellikleri	61
Çizelge 5.3 : Gemi operasyonlarında dinamik risk kaynaklı hata türleri	62
Çizelge 5.4 : Hata türlerinin gemi operasyonları üzerindeki etkileri ve sonuçları ...	63
Çizelge 5.5 : Uzman değerlendirmeleri	68
Çizelge 5.6 : Bulanık RPN değerleri	76
Çizelge B.1 : EĞER öncülü İSE sonucu listesi	107
Çizelge C.1 : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu	111



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tez akış şeması	4
Şekil 3.1 : Anket çalışması aşamaları	12
Şekil 4.1 : Üçgen bulanık sayılar	52
Şekil 4.2 : Yamuk bulanık sayılar	52
Şekil 4.3 : Bulanık kural tabanı yapısı	54
Şekil 4.4 : Bulanık A ve B kümesinin kesişimi	55
Şekil 4.5 : Bulanık A ve B kümesinin birleşimi	56
Şekil 5.1 : Bulanık FMEA süreci	60
Şekil 5.2 : Bulanık çıkarım sistemi (FIS) editörü	69
Şekil 5.3 : Meydana gelme (girdi değişkeni) üyelik fonksiyonu	70
Şekil 5.4 : Şiddet (girdi değişkeni) üyelik fonksiyonu	71
Şekil 5.5 : Saptanabilirlik (girdi değişkeni) üyelik fonksiyonu	71
Şekil 5.6 : Risk (çıktı değişkeni) üyelik fonksiyonu	72
Şekil 5.7 : Dinamik risk değerlendirme kural tabanı	72
Şekil 5.8 : Dinamik risk değerlendirme sistemi kural görüntüleme ekranı	73
Şekil 5.9 : Dinamik risk değerlendirme sistemi için RPN'ye ait yüzey gösterimi ...	74
Şekil A.1 : Statik risk değerlendirme formu örneği.....	104



EMNİYETLİ GEMİ OPERASYONLARI İÇİN HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)'NE DAYALI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Gemi operasyonları esnasında hem çevresel hem de insan kaynaklı riskler, beklenmeyen ve istenmeyen aksaklıklara sebep olabilmektedir. Gemilerde, risk değerlendirme faaliyetleri çoğunlukla her bir operasyon için sabit risk değerlendirme formları ile yapılmaktadır. Ancak gemi operasyonları esnasında görüş durumu, geminin konumu, operasyonun yapıldığı zaman dilimi, hava durumu, akıntı hızı, gelgit durumu, trafik yoğunluğu, seyir bölgesi, gemi türü ve geminin boyu vb. dinamik faktörler bu riskleri artırabilmektedir. Gemilerde operasyonel risk değerlendirme formları mevcuttur ancak risk değerlendirme formlarında, bu dinamik riskler yer almamaktadır.

Bu tez çalışmasında, gemi operasyonlarındaki riskleri artıran dinamik faktörler tespit edilmiş, nicel olarak operasyondaki hangi değişkenlerin hangi riskleri ne kadar artırdığını incelenmesi için deneyimli gemi adamlarına ön anket çalışması yapılmıştır. Daha sonra, oluşturulan bir uzman ekip ile dinamik risk faktörlerinin neden olacağı potansiyel hata türleri belirlenmiştir. Dinamik risk faktörlerinin değerlendirilmesi için Hata Türleri ve Etki Analizi (FMEA) yöntemi kullanılmıştır.

Belirlenen hata türlerinin ortaya çıkma sebepleri, bu hata türleri meydana geldiğinde karşılaşılan durumlar ve bu hata türlerinin operasyon esnasında tespit edilip edilemeyeceği uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Klasik FMEA'daki hatalı ölçüm ve uzman değerlendirmelerinden kaynaklanan belirsizliğin ortadan kaldırılması için çalışmaya bulanık küme teorisi dahil edilmiştir.

Yanışma/kalkma/halat ve demirleme operasyonu vaka çalışması olarak belirlenmiş ve önerilen yöntemin geçerliliği ve uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bu kapsamda, yanışma/kalkma/halat ve demirleme operasyonlarındaki statik risklere dinamik riskler eklenerek, operasyona ait toplam risk değeri hesaplanmıştır. Uzman değerlendirmeleri sonucunda, klasik FMEA ve bulanık FMEA'nın çıktısı olan RPN ve FRPN değerleri belirlenmiş ve hata türleri önceliklendirilmiştir. Elde edilen RPN ve FRPN değerleri karşılaştırıldığında, yapılan öncelik sıralamalarında önemli ölçüde farklılık olduğu görülmüştür.

Çalışmanın sonucunda, hesaplanan FRPN değerlerine göre, dinamik risklerin oluşturduğu potansiyel hatalardan hangisinin operasyon süreci için daha kritik olduğu hesaplanmış ve geminin emniyetini etkileyen olası risklerin kontrol edilmesi ve proaktif bir yaklaşımla bu risklerin etkilerinin azaltılması veya ortadan kaldırılması için kontrol önlemleri belirlenmiştir.

Risklerin önceliklendirilmesi, bu risklerin doğru yönetilebilmesi açısından önemlidir. Sınırlı kaynak ve insan gücünün daha etkin yönetilmesi, yeni risklerin ortaya çıkmasını

da önleyecektir. Böylece, risk kaynaklı maliyetlerin azaltılması ve sınırlı kaynak aktarımlarının daha verimli yapılması sağlanabilecektir.



DEVELOPING A DYNAMIC RISK ASSESSMENT MODEL BASED ON FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) FOR SAFETY SHIP OPERATIONS

SUMMARY

Ships with which sea transportation activities are performed have great importance both in terms of life and property safety. Ships are exposed to risks that stem from the sea, either when they are moored or during their time at sea, stemming from the cargo or crew. Many recommendations and safety codes were proposed with the contracts related with the courses of ship, and crew, such as SOLAS, COLREG, MARPOL, STCW and MLC, which were prepared by relevant authorities to eliminate or reduce these risks.

Although there are continuous developments in safety and technology, many ship accidents occur in systems open to external factors, such as ships, and loss of lives and property are experienced. For this reason, studies conducted on ship safety in the field of maritime research are the subject of continuous research; and various studies are conducted to identify the sources of accidents in ship operations and to avoid or reduce accidents.

There are operational risk assessment forms on ships. Risk assessment activities are mostly performed with risk assessment forms, which provide quantitative evaluation of external threats and seafarers failures, including safety and failure data of the HSEQ Department in shipping companies. However, when the variety and dynamic nature of ship operations are considered, the condition in which the risks will constantly vary even for the same operation is overlooked.

There are dynamic risks as well as static risks that stem from the nature of operations on ships. In the scope of this thesis study, the dynamic risks that affect the operational activities of ships were identified. Visibility, weather conditions, location of ships, current speeds, tidal status, the time of the operation, when the operation was performed, traffic density, and navigation zone were evaluated as the dynamic variables. The type of ship and the length of the ship were evaluated as the static variables.

In this study, firstly, the dynamic factors increasing the risks in ship operations were identified, and with the survey, it was examined with the help of experts which variables in the operation increased which risks to what extent. Then, with the help of a team of experts, the types of potential failures caused by the dynamic risk factors were identified. The FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) Method was used to assess the effects of the identified dynamic risks on failures.

The FMEA Method was used to measure the risks according to dynamic variables for each specified operation. In this context, the dynamic risk factors were identified in ship operations; and the potential failure types, which these risk factors would cause, were identified.

The FMEA Method was used to measure the risks according to the dynamic variables for each operation. In this respect, the dynamic risk factors were identified in ship operations; and potential failure types, which these risk factors would cause, were identified. The primary purpose of the study was to identify these risks before they appear, and ensure that quick actions are taken to control them. Preventing risks before they appear is of great importance in the safe execution of ship operations. The second purpose of the study was to notice the potential failure types before they become an unavoidable problem; and to take necessary regulatory and reducing measures. In this context, regulatory and reducing control measures were proposed as a result of the study. Controls must be performed systematically. For this purpose, brainstorming was done with the FMEA expert team that was created; and 25 failure types were identified for 8 dynamic risk factors. The probability, severity, and detectability of these failure types were examined and evaluated by the expert team.

Then, the Fuzzy Logic Approach was integrated into the FMEA Method to overcome the disadvantages of the FMEA Method. The decision-makers evaluated each failure type based on risk factors by using linguistic terms instead of clear terms.

Mooring/unmooring/rope and anchoring operations were determined as the case study; and the validity and applicability of the proposed method was shown. In this context, the dynamic risks were added to the static risks in mooring/unmooring/rope and anchoring operations; and the total risk value of the operation was calculated. According to the results obtained from the FMEA Method and the proposed approach, the failure types were prioritized in order of importance; and comparisons were made between the outcomes. According to the results, it was revealed that the ranking results that were obtained with the Classic FMEA and Fuzzy FMEA differed from each other.

In this respect, there were no changes in the ranking of the first three failures. The top three failures that had the highest FRPN values were FM 3.2 (fatigue/individual failure), FM 2.7 (very strong wind), and FM 2.5 (extreme heat), respectively. Among all failure types, FM4.1 (low water) ranked the fourth. FM5.2 (increase/decrease in the speed of the ship) ranked the fifth in importance ranking. FM5.1 (effect on maneuvering) and FM6.2 (machine room and operations) failures that had the same FRPN values ranked the sixth.

The risk priority approach that was proposed offers a systematic framework for risk assessment of failure types; and eliminates the weaknesses of the Classic FMEA. In this thesis study, it was shown that the developed risk priority model is more flexible, practical, and effective for evaluating and sorting the failure types in the context of uncertainty. When the FRPN values were calculated to conduct the operations in a safer and more reliable setting, corrective and preventive activities were proposed for each failure type.

Determining possible effects of dynamic risks is very important for risk management systems in ship operations. The adequacy of the existing measures and the proposed additional measures can only be performed more effectively after possible effects of failure types are determined. In this way, we will be prepared for possible risks that may be faced during ship operations. For this reason, it is predicted that potential risks will be eliminated, and time, cost and labor will be saved.

It is important to identify risk reduction measures and risks for safe completion of ship operations. It is expected that the proposed method serves as a proactive and self-renewing, useful tool for safety and risk management of ship operations. The present study included the Fuzzy Logic Method in the FMEA Method to ensure that

stakeholders make rational risk-based decisions, to provide a basis to improve the safety of mooring, unmooring and port operations.





1. GİRİŞ

Dünya ticaret hacminin beşte dördünden fazlası deniz yoluyla taşınmaktadır. Bu açıdan deniz taşımacılığı küresel ticaretin ve imalat tedarik zincirinin belkemiğidir (UNCTAD, 2019). Deniz taşımacılığı, tek seferde büyük miktarlarda yük taşınabilmesi, ülkelerarası sınır aşımı probleminin bulunmaması, mal kaybının minimum düzeyde olması ve diğer taşımacılık türlerine göre daha emniyetli olması sebepleriyle dünyada en çok tercih edilen taşımacılık türü olarak kabul edilmektedir (Kayserilioğlu, 2008).

Teknolojik ve sosyal gelişmelere, sanayileşmeye ve nüfus artışına paralel olarak enerji, emtia ve gıdaya olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu durum deniz taşımacılığının gerçekleştirildiği gemi sayısında, gemi boyutlarında, gemi hızında artışları ve dolayısıyla gemi trafik artışını beraberinde getirmektedir. Büyük yatırımların yapıldığı gemilerde göz ardı edilen riskler yüksek maliyete ve felakete neden olma potansiyeline sahiptir. Böyle sistemlerdeki risklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, gerekli önlemlerin etkili bir şekilde alınması için temel oluşturur (Villa, 2016).

Nükleer enerji santralleri, uçak gemileri, yüksek hızlı trenler, tehlikeli madde depolama sahaları gibi tesisler topluma fayda sağlar, ancak doğası gereği risklidir. Bu büyük ölçekli sosyo-teknik sistemler için beklenmeyen hatalar, yaşam, ekipman ve topluma zarar verme potansiyel maliyeti nedeniyle oldukça önemlidir. Sorun, potansiyel olarak tehlikeli olan teknik operasyonlar üzerinde insan kontrolünün nasıl sağlanacağıdır (Paltrinieri, 2019). Benzer şekilde, gemiler de yapılan işler ve çevresel faktörler nedeniyle birçok riski bünyesinde barındırmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Denizcilik endüstrisindeki risklerin tanımlanmasına ve bunların önlenmesine yönelik denizcilik otoritelerince birçok karar, kod ve uygulama kabul edilmiş ve riski azaltıcı ya da önleyici kontrol önlemleri önerilmiştir. Ancak denizcilikteki pek çok

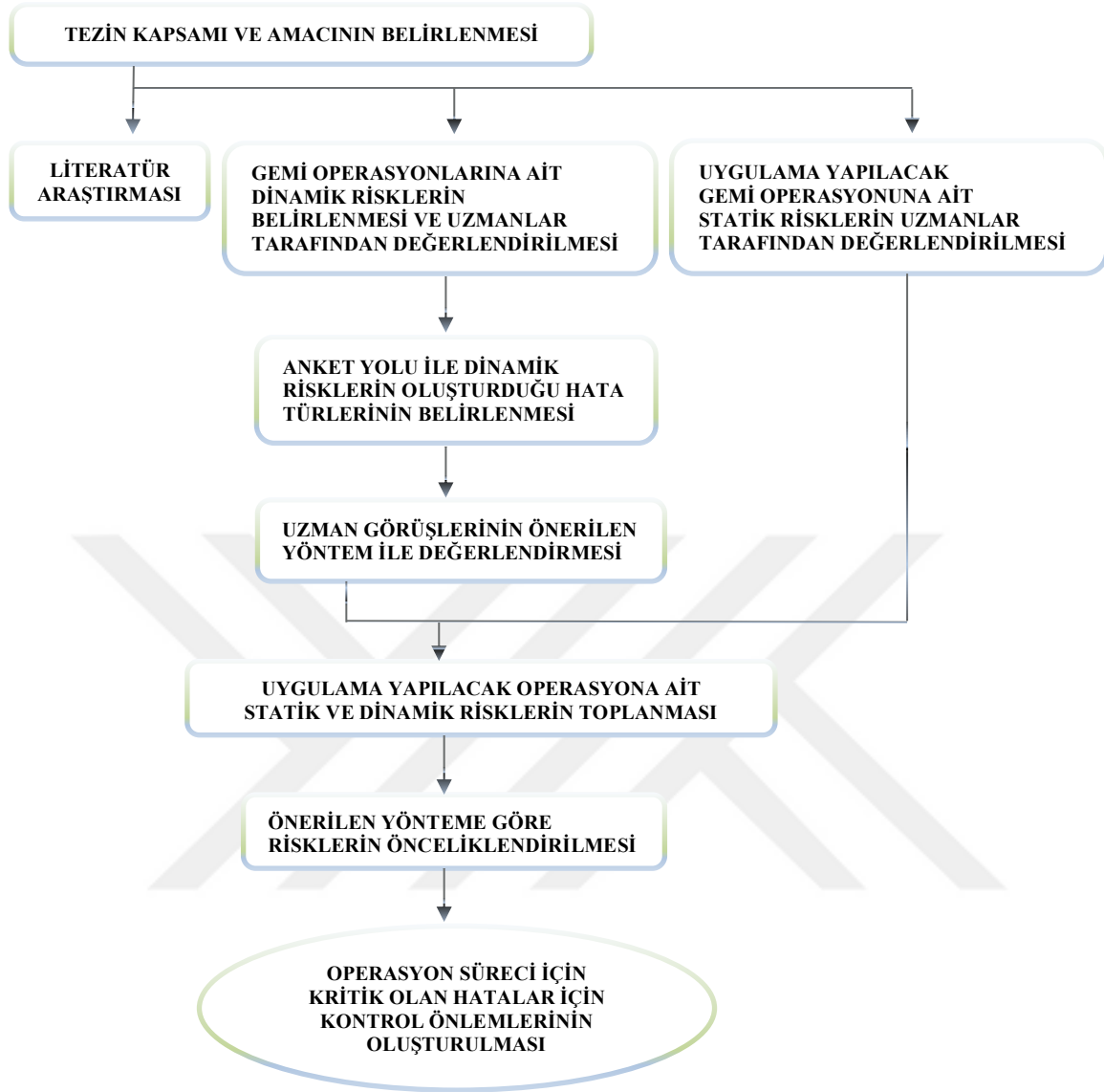
konvansiyon, kural ve kodların büyük kazalar sonrasında kabul edildiği görülmektedir. Riskleri ortadan kaldırmaya veya azaltmaya yönelik denizcilik otoritelerince sürekli önlemler alınmasına rağmen büyük kazalar yaşanmaya devam etmektedir.

1988 yılında, Kuzey Denizi'nde petrol üretim platformu Piper Alpha'da yaşanan felaket, 167 mürettebatın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Kishore (2013)'nin kaybedilen insan hayatı açısından en kötü petrol üretim felaketi olduğunu söylediği Piper Alpha kazası sonrasında Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından denizcilik endüstrisindeki emniyeti değerlendirmek için çalışmalar yapılmış ve bir rehber niteliğinde olan Biçimsel Emniyet Değerlendirmesi (FSA) uygulaması geliştirilmiştir. FSA Kılavuzları, IMO'nun kural oluşturma sürecinde kullanılması için 2002 yılında onaylanmıştır (MSC/Circ.1023/MEPC/Circ.392). Kılavuzlar MSC/Circ.1180-MEPC/Circ.474 ve MSC-MEPC.2/Circ.5. tarafından değiştirilmiştir. Bu kılavuzların yerini şu anda MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. almıştır. FSA, IMO sözleşmelerinde yapılacak değişikliklere karar verme sürecinde üye devletler ya da ilgili komiteler tarafından temel olarak kullanılmaktadır (Karar A.500(XII), A.777(18), A.900(21)). Amacı, IMO tarafından alınan kararların daha sağlıklı olmasını ve proaktif bir yaklaşım ile kazalar olmadan önlemlerin alınmasını sağlamaktır (Korçak, 2015).

Bununla birlikte, gemilerdeki risklerin değerlendirilmesi şirketler tarafından yapılmış ve bu risklerin etkilerinin minimize edilebilmesi için statik risk değerlendirme formları oluşturulmuştur (Şekil A.1). Ancak gemiler belirlenen riskler dışında meteorolojik, çevresel, geminin yapısı ve denge koşulları, operasyonun gereksinimleri gibi birçok dinamik risklerin de etkisi altındadır. Bu riskler dikkate alınmadığında çok önemli kayıpların yaşanması kaçınılmazdır. Gemi operasyonları esnasında; görüş durumu, operasyonun yapıldığı zaman dilimi, hava durumu, akıntı hızı, gelgit durumu, trafik yoğunluğu vb. birçok farklı dinamik faktör bu riskleri artırabilmektedir. Mevcut risk değerlendirme formlarında dinamik riskler yer almamaktadır. Bu nedenle, dinamik risklerin hangi koşullarda nasıl değiştiğinin sayısal olarak belirlenmesi ve değerlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Hem statik risklerin hem de dinamik risklerin yeni bilgiler ve veriler elde edildiğinde, mevcut bilgilerin güncellenebilmesi yapılacak operasyonun emniyeti açısından önemlidir.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması, yedi ana başlık altında organize edilmiştir (Şekil 1.1). Çalışmanın ilk bölümünde, gemi operasyonlarının emniyetli yürütülmesinde dinamik risklerin etkisi ve bu risklerin değerlendirilmesine duyulan ihtiyaç tartışılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, gemi emniyet ile ilgili genel bilgiler verilerek ulusal ve uluslararası çerçevede emniyetli gemi operasyonları ile ilgili atılan adımlardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, emniyetli gemi operasyonları için dinamik risklerin değerlendirilmesinde kullanılan, literatürdeki mevcut yaklaşımları içermektedir. Dördüncü bölümde ise bulanık küme teorisi ve FMEA tanıtılmaktadır, FMEA iyileştirmeleri ile ilgili literatür sunulmaktadır ve önerilen bulanık FMEA metodolojisi açıklanmaktadır. Çalışmada önerilen yaklaşımın geçerliliği ve uygulanabilirliği, yanaşma/kalkma ve halat operasyonları ile gösterilmekte ve önerilen metodolojiden ve geleneksel yaklaşımdan elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Altıncı bölümde ise, geliştirilen yaklaşımın denizcilik endüstrisine sağlayacağı faydaları ve ileriye dönük araştırma önerileri vurgulanmaktadır.



Şekil 1.1 : Tez akış şeması.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Denizcilik ve Risk Değerlendirmesi

Deniz kazaları sürekli ve değişken parametrelerden oluştuğundan, risk faktörleri farklı olayları tetikleyebilir ve farklı tehlikelere yol açabilir (Sahin, 2015). Bu bakımdan kazaların önlenmesinde risk değerlendirmesi önemli bir rol oynamaktadır. Risk değerlendirmesi, düzenleyici etki diyagramları olarak adlandırılan prosedürlerdir. Düzenleyici etki diyagramı, bir kazanın "olasılığını", "şiddetini" ve etkilenen bir gemiden insanların tahliyesi, kirliliğin kontrol altına alınması, temizlik vb. gibi "azaltıcı ve düzeltici kontrol önlemleri" unsurlarını temsil eder (Soares, 2001). Risk değerlendirmesinden elde edilecek çıktılar, gemide yürütülen operasyonlar için temel oluşturur.

2.2 Gemi Operasyonel Süreç Odaklı Risk Değerlendirmesi

Gemi operasyonlarına ait statik risklere, önemli belirsizliklerin ve değişken faktörlerin eklenmesi karmaşık ve dinamik bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Geleneksel risk değerlendirme yöntemleri, büyük risklerin tanımlanmasında ve emniyetin sağlanmasında önemli bir rol oynamasına rağmen statik yapıdadır (Kalandarnia, 2009). Sürekli gelişen bir ortamda; risk konularının ele alınması, operasyonların desteklenmesi ve geleneksel tekniklerin sınırlamalarının aşılması için risk değerlendirme metodolojileri ve uygulamaları dinamik bir yöne doğru gelişme göstermiştir. Bu, daha doğru bilgilerle sürekli entegrasyona ve risk tablosunun iyileştirilmesine izin verir (Paltrinieri ve Khan, 2016). Dinamik risk değerlendirmesi, yeni risk kavramlarını ve erken uyarıları dikkate almayı ve ilgili riskleri sistematik olarak güncellemeyi ve daha fazla esneklik sağlamayı amaçlamaktadır (Villa, 2016). Böylece, karar vericileri erken eylemler için daha iyi bilgilendirir (Khan, 2015). Dinamik risk değerlendirmesi, gelecek nesil risk ve yönetim yaklaşımlarının temelini oluşturur (Khan, 2016). Dinamik risklerin ortaya çıktığı durumlarda, değişen

prosedürlerin uygulanması ve gerekli ekipmanların seçilmesi, süreci yönetmek için kullanılacak tekniklerin belirlenmesi konularında esas teşkil edecektir.

2.3 Biçimsel Emniyet Değerlendirmesi

IMO'ya göre, bir felaket meydana gelmeden önce önlem alınmasını sağlamanın tek yolu, Biçimsel Emniyet Değerlendirmesi (FSA) olarak bilinen sürecin kullanılmasıdır. IMO, FSA'yı bir tehlikenin meydana gelme olasılığının ve sonucun şiddetinin kombinasyonu olarak tanımlar (IMO, 1997). FSA, risk temelli bir değerlendirme yöntemidir. Sistem fonksiyonlarının operasyonel düzeyde risk teşkil etmemesi için nasıl kontrol edilebileceğinin ve hangi düzeltici faaliyetlerin geliştirilebileceğinin ortaya koyulması, operasyonların emniyetli bir çalışma ortamında yürütülebilmesi açısından önemlidir (Acar, 2007).

Son yıllarda, denizcilik endüstrisinde, özellikle, açık deniz sistemleri için pek çok Dinamik Risk Değerlendirmesi (DRA) çalışmaları yapılmıştır. Örneğin; Ren ve diğ. (2011), SAMSON risk modeli ile bulanık mantık yöntemini kullanarak, gemilerin gerçek zamanlı çarpışma riskini değerlendirmişlerdir. Benzer bir şekilde, Yeo ve diğ. (2016) Bayes Ağları tabanlı dinamik risk değerlendirme metodolojisi kullanarak bir terminaldeki LNG taşıyıcının boşaltma işlemlerinde çarpışma, sızıntı ve karaya oturma kazalarına neden olan durumların yaşanma sebeplerini incelemişlerdir. Zhang ve diğ. (2018), Bow-Tie modelini Dinamik Bayes Ağları'na çevirerek açık deniz petrol ve gaz alanındaki MPD (kontrollü-basınçlı sondaj) operasyonlarını incelemişlerdir.

Diğer bir çalışma, Pak ve diğ. (2015) hava durumu, kanalların özelliği ve gemi türleri vb. gibi limanlarda emniyeti etkileyen risk faktörlerini Kore'deki limanlar açısından değerlendirmiştir. Bi ve diğ. (2012), MLD dinamik risk değerlendirme modelini kullanarak petrol sızıntı kazası için olası kayıp ve sonrasında ortaya çıkan çevresel zarar, varlık kaybı, sağlık etkisi ve sosyal etki gibi problemler açısından incelemiştir. Eide ve diğ. (2007), dinamik risk yaklaşımı ile petrol tankerleri için gerçek zamanlı ve tahmin modunda, sürüklenerek karaya oturma kazalarının çevresel riskini tahmin ederek, karaya oturma olasılığını ve sahil şeridi üzerinde petrol sızıntısının etkisini incelemiştir. Sürüklenen gemiye etkili destek sağlanması için gerçek zamanlı ve öngörülen riski kullanarak römorkörlerin dinamik risk tabanlı konumlandırılmasını sağlamayı amaçlamışlardır. Dai ve diğ. (2017), bulanık sistem yöntemini kullanarak kısıtlı görünürlükte, deniz trafik emniyeti için erken risk uyarısı sağlayabilmesi

amacıyla dinamik risk ön-değerlendirme sistem modeli geliştirmişlerdir. Rokseth ve diğ. (2015), otomatik kontrolün risk değerlendirmesini zorlaştırdığı Dinamik Konumlandırma (DP) sistemlerine odaklanmışlardır. Riskin, zamana bağlı değişkenler ve durum değişkenleri, bozukluklar ve olay zamanlaması gibi parametrelere bağlı olduğunu göstermişlerdir. Operasyonel çevrimiçi risk değerlendirme çerçeveleri için temel gereksinimler önermişlerdir. Balmat ve diğ. (2009), bir geminin bireysel risk indeksinin şüpheli bir gemiyi tespit etmek için gerçek zamanlı olarak kullanılabileceğini savunmuşlardır. Bulanık mantık yaklaşımı ile MARitime RiSk Değerlendirmesi (MARISA) yaparak geminin statik risk faktörü ve dinamik risk faktöründen bulanık risk faktörünü elde etmişlerdir. Yan ve diğ. (2017), CBR ve F-TOPSIS hibrit çalışması ile iç su yolu taşımacılığı yapılan Yangtze Nehri'nin tıkanıklık risklerini dinamik olarak araştırmışlardır. Bir dinamik risk ortamında, en uygun maliyetli olanın seçilmesi için CBR (maliyet-fayda oranı), iç su yolu tıkanıklıklarının dinamik risklerinin değerlendirilmesi için F-TOPSIS yöntemiyle birlikte uygulanmıştır.



3. DİNAMİK RİSK DEĞERLENDİRME SÜRECİ

3.1 Kavramsal Çerçeve

Risk değerlendirmesi sonucunda, bir risk matrisi oluşturulmaktadır. Bu risk matrisinde operasyona ait riskler, olasılık ve etki değerlerine göre derecelendirilmektedir (Kuleyin, 2007). Risklere öncelik sırası verilebilmesi için riskler sayısal değerlerle ifade edilmektedir. Olasılık ve etki değerlerinin çarpımından elde edilen değere göre risk seviyesi belirlenmektedir. Matris içerisindeki sayıların karşılık geldiği risk seviyesi değerlendirmelerine göre risk azaltıcı ve düzeltici faaliyetler ya da kontrol önlemleri önerilmektedir.

Bu çalışmada, belirlediğimiz dinamik risklerin belirlenmesi için bir anket çalışması hazırlanmıştır. Ölçüm araçlarındaki ifadeler 5’li Likert ölçeği esas alınarak (1=çok düşük risk, 2=düşük risk, 3=orta risk, 4=yüksek risk, 5=çok yüksek risk şeklinde) oluşturulmuştur. Likert ölçeği; karakter, kişilik ve tutum özelliklerinin ölçülebilmesi için 1932 yılında Likert tarafından geliştirilmiştir (Boone, 2012). Elde edilen verilerin istatistiksel analizi için Sosyal bilimler için istatistiksel paket programı (SPSS) 26.0 kullanılmıştır.

3.2 Dinamik Risk Değerlendirmesi

Tehlike tanımlama (HAZID), herhangi bir risk değerlendirmesinin ilk adımını oluşturan (Kim, 2015), yeterli önlem alınmaksızın tehlikeli bir olaya yol açacak tehlikeleri tanımlamak için kullanılan analitik bir tekniktir (Veritas, 2003). HAZID için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Beyin Fırtınası (Brain Storming - BS) yöntemi kullanılmıştır. BS yöntemi ilk defa 1957 yılında Osborn isimli bir reklamcı tarafından kullanılmıştır (Alım, 2013). Kurumsal ortamlarda yaratıcılığı artırmanın bir aracı olarak kullanılan BS (Al-Samarraie, 2018) sonraki yıllarda kısa sürede çok sayıda fikir elde edilebilmesi nedeniyle farklı alanlarda da kullanılmaya başlamıştır (Alım, 2013).

Detaylı literatür incelemesi ve alanında uzman kişilerin görüşleri BS yolu ile alınarak risk faktörleri her bir operasyon grubu için belirlenmiştir. Operasyon grupları için risk faktörleri farklılık gösterebilmektedir. Operasyonu etkilemeyen veya operasyon için uygun olmayan risk faktörü, bu operasyon grubu için dikkate alınmamıştır.

HAZID sonucunda belirlenen 10 dinamik risk faktörüne ait kantitatif risk değerlendirmesi, risk indeksi açısından araştırılmıştır. Belirlenen dinamik risk faktörleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Dinamik risk faktörleri.

ÇEVRESEL DEĞİŞKENLER	
Görüş Seviyesi	Görüş 1,2,3,4,5,6+
Geminin Konumu	Liman, Kıyısız sular, Açık sular, Sığ sular, Dar kanallar, Boğazlar, Trafik ayırım bölgeleri, Demir, İç deniz/Körfez
Operasyonun Yapıldığı Zaman	Gündüz, Gece
Hava Durumu	1-3 Bofor, 4-6 Bofor, 7-10 Bofor, 11+ Bofor
Akıntı Hızı	0-1 knot, 2-3 knot, 4+ knot
Gelgit Durumu	Yok, Yüksek Gelgit, Düşük Gelgit
Trafik Yoğunluğu	Az, Orta, Çok
Seyir Bölgesi	Buzlu sular, Soğuk sular, Tropik sular
ÇEVRESEL OLMAYAN DEĞİŞKENLER	
Gemi Türü	Gaz Tankeri, Ham Petrol Tankeri, Kimyasal/ Product Tanker, Konteyner Gemileri, Dökme Yük/Genel Kargo Gemileri, Ro-Ro Gemileri, Yolcu Gemileri
Geminin Boyu	50-99m, 100-149m, 150-199m, 200m ve üzeri gemiler

Dinamik risk faktörleri çevresel ve çevresel olmayan değişkenler olarak iki grupta sınıflandırılmıştır. Görüş durumu, hava durumu, operasyonun yapıldığı zaman dilimi, akıntı hızı, gelgit durumu, liman trafik yoğunluğu, geminin bulunduğu konum ve seyir yapılan bölge değişkenleri çevresel faktörler kapsamında değerlendirilmiştir. Gemi boyu ve gemi türü çevresel olmayan değişkenler kapsamında değerlendirilmiştir.

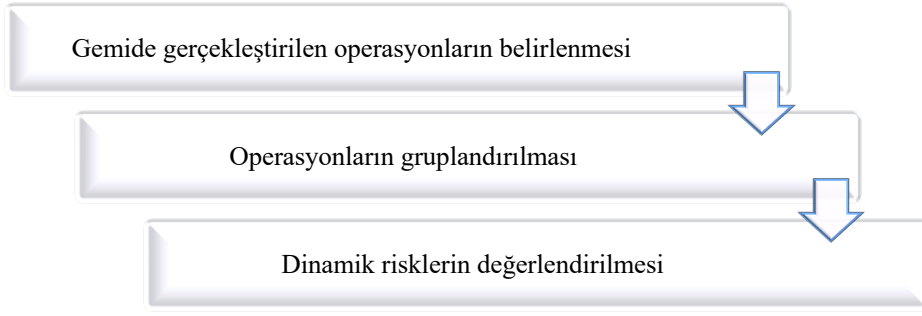
Çevresel değişkenlerden görüş durumu; Görüş 1 (kalın sis), Görüş 2 (sis), Görüş 3 (Nötr sis), Görüş 4 (dumansız/hafif dumanlı), Görüş 5 (zayıf görüş) ve Görüş 6 (nötr görüş) olarak sınıflandırılmıştır. Hava durumunun değerlendirilmesi için 1-3 bofor, 4-

6 bofor, 7-10 bofor ve 11+ bofor alt seçenekleri verilmiştir. Rüzgar hızı, rüzgar yönü ve deniz durumu, hava durumu risk değişkeni altında değerlendirilmiştir. Operasyonun yapıldığı zaman dilimi, gündüz ve gece olarak sınıflandırılmıştır. Gemi konumunun limanda, demirde, kıyısal sularda, açık denizde, iç denizde/körfezde, dar kanallarda, boğazlarda, trafik ayırım bölgelerinde olması durumlarına göre için risk değerlendirilmesinin yapılması istenmiştir. Gelgit durumu; yüksek ve alçak gelgit olarak sınıflandırılmıştır. Akıntı hızı; 0-1, 2-3, 4+ knot olarak sınıflandırılmıştır. Liman trafik yoğunluğu; az, orta ve çok olması durumuna göre sınıflandırılmıştır. Seyir yapılan bölge; buzlu sularda, soğuk sularda ve tropikal sularda alt seçenekleri ile sınıflandırılmıştır. Gemi boyu; 50-99m, 100-149m, 150-199m, 200m ve üzeri aralıklarında sınıflandırılmıştır. Gemi türü; gaz tankeri, ham petrol tankeri, konteyner gemileri, kimyasal/product tanker, dökme/genel kargo gemileri, ro-ro gemileri, yolcu gemileri olarak sınıflandırılmıştır.

3.3 Dinamik Risklerin Değerlendirilme İçin Ön-Veri Toplama Çalışması

Ön-veri toplama aracı olarak gemi operasyonlarına katılan Türk gemi adamlarına yönelik bir anket çalışması hazırlanmıştır. Gemilerde sıklıkla yapılan 80 operasyon belirlenmiş ve bu operasyonlar 12 temel operasyon grubu altında listelenmiştir. Temel operasyonlar; kargo operasyonları, yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonları, bakım/tutum/tamir işlemleri, yakıt değişim operasyonları, balast alma/basma/değişimi işlemleri, seyir esnasında yapılan işlemler, güvertede yapılan işlemler, acil durum operasyonları, ekipman arıza işlemleri, tamir ve gemi içi operasyonlar, ana makine ve yardımcı makine işlemleri ve diğer işlemler olarak belirlenmiştir.

Anket çalışması, 88 sorudan oluşmaktadır. Öncelikle gemi adamlarının cinsiyeti, yeterliliği ve deniz tecrübeleri bilgilerine yönelik demografik nitelikte sorulara yer verilmiştir. Ardından, 12 farklı operasyon grubu için görüş durumu, geminin bulunduğu konum, operasyonun yapıldığı zaman dilimi, hava durumu, akıntı hızı, gelgit durumu, limanın trafik yoğunluğu, gemi boyuna ve gemi türlerine göre dinamik riskleri değerlendirmeleri istenmiştir. Anket çalışması üç aşamada tasarlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Anket çalışması aşamaları.

Anket çalışması, Aralık 2019 - Ocak 2020 tarihleri arasında elektronik ortamda ve yüz yüze anket yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aktif olarak çalışan, 56 gemi adamından geri dönüş sağlanmıştır. Elde edilen veriler, SPSS programı ile analiz edilmiştir.

Anket çalışmasına katılan gemi adamlarının %89,3 (50)'ü erkek, %10,7 (6)'si kadındır. Gemi adamlarının yeterliliğine bakıldığında, %43,64 oranla büyük çoğunluğunu Uzakyol Kaptanı oluşturmaktadır. Bu sıralamayı %23,64 oranla Uzakyol 1. Zabit, %16,36 oranla Uzakyol Vardiya Zabiti, %3,64 oranla Uzakyol Başmühendis, %5,45 oranla Uzakyol 2. Mühendis, %5,45 oranla Uzakyol Vardiya Mühendisi ve %1,82 oranla Kaptan takip etmektedir. İş deneyimleri açısından %20'sinin 17+ yıl, %16,7'sinin 12-16 yıl, %27,3'ünün 8-11 yıl, %20'sinin 4-7 yıl, %16,6'sının 3 yıl ve daha az deniz tecrübesine sahiptir. Ankete katılan gemi adamlarının ortalama deniz tecrübesi 10,3 yıldır.

Cronbach's Alfa katsayısı bir ölçekteki soruların sayısına ve onların arasındaki ortalama korelasyonuna dayanır; bu soruların ortak bir noktayı ölçme derecesini yansıtır (Gülseren, 1999). Bu katsayı 0 ile 1 arasında değişmektedir ve analizin güvenilirliğini tanımlamak için kullanılabilir. Nunnally (1978), 0,7 değerinin kabul edilebilir bir güvenilirlik katsayısı olduğunu ifade etmiştir (Rouquette, 2011). Anket verileri üzerinden hesaplanan Cronbach's Alfa iç tutarlılık katsayısı 0,986'dır (Çizelge 3.2). Buna göre anketin güvenilirlik oranı %98'dir. Cronbach alfa değerleri ve anketin güvenirliliği 0,7 üzerinde olması güvenilir değerler içerisinde olduğunun göstergesidir.

Çizelge 3.2 : Güvenilirlik istatistik değeri.

Cronbach's Alpha	N (öge)
0,986	371

Her bir operasyon grubu için anket çalışmasına ait Cronbach's Alpha değerleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Tüm operasyonlar için conbach alpha değeri.

Gemi Operasyonları	Cronbach Alpha
Yük Operasyonları	0,916
Yanaşa/Kalkma/Halat/Demirleme Operasyonları	0,917
Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	0,897
Yakıt Değişim Operasyonları	0,931
Balast Alma/Basma/Değişimi İşlemleri	0,921
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	0,920
Güvertede Yapılan İşlemler	0,941
Acil Durum Operasyonları	0,929
Ekipman Arıza İşlemleri	0,935
Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar	0,908
Ana Makine ve Yardımcı Makine İşlemleri	0,932
Diğer İşlemler	0,951

3.4 Dinamik Risk Değerlendirmesi

Bu çalışmada, gemi operasyonlarına yönelik dinamik risk faktörlerinin risk katsayıları gemi adamlarından elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre belirlenmiştir. Buna göre, her bir operasyon grubu için sonuçlar çizelgeler halinde aşağıda, sırasıyla, verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Görüş durumu için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Görüş 1	Görüş 2	Görüş 3	Görüş 4	Görüş 5	Görüş 6
Yük Operasyonları	4,17	3,61	2,68	2,08	2,36	1,56
Yanaşma/Kalkma/Halat/Demirleme Op.	4,54	3,85	3,05	2,33	2,68	1,87
Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	3,91	3,36	2,75	2,19	2,38	1,77
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	4,45	3,92	3,12	2,47	2,61	1,89
Güvertede Yapılan İşlemler	4,19	3,61	2,94	2,26	2,49	1,73
Acil Durum Operasyonları	4,68	4,08	3,29	2,66	2,78	1,96
Ekipman Arıza İşlemleri	3,94	3,40	2,80	2,21	2,35	1,91
Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar	4,10	3,66	2,98	2,45	2,45	2,01
Diğer İşlemler	2,73	2,29	1,94	1,59	1,66	1,32

Uzman görüşlerine göre, görüş durumunun gemi operasyonları üzerindeki risk değerleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Görüş durumundan etkilenen gemi operasyonlarının risk değerlendirmesi, sırasıyla;

- Her görüş seviyesinde, acil durum operasyonları, en yüksek risk seviyesine sahiptir. Görüş seviyesi 3 (nötr sis) değerinin altına düştüğünde acil durum operasyonları için riskin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Görüş 2 seviyesi (sis) koşullarında, bu oran, 4,08 iken görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşullarında 4,68 değeri ile en yüksek risk oranına yükselmiştir.

Acil durum operasyonları; filika ve kurtarma botlarının denize indirilmesi, role ve talimler, yüksek/çok yüksek seviye alarm durumları, geminin limanda atıl veya acil durumda ana makinasını çalıştıramayacak durumda olması vb. kapsamaktadır. Bu operasyonların görüş seviyesi 1 koşulları altında yapılması oldukça risklidir. Bu koşullar altında, acil durum operasyonlarının gerçekleştirilmemesi gemi emniyeti açısından doğru bir yaklaşımdır.

- Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonları, en yüksek risk seviyesine sahip ikinci operasyondur. Görüş seviyesi 3 (nötr sis) değerinin altına düştüğünde, operasyon riskinin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Görüş 2 seviyesi (sis) koşullarında, bu oran, 3,85 iken görüş 1 seviyesi (kalın sis) koşullarında 4,54 risk oranına yükselmiştir.

Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonları; borda iskelesi operasyonları, Panama geçiş operasyonu, demirleme operasyonları, demirsiz yanaşma ve demirleme operasyonları, baş pervanesinin devreye alınması ve kullanılması işlemleri, bir radar arızalı iken yanaşma, kalkma ve seyir durumu vb. işlemleri kapsamaktadır. Bu operasyonlar sırasında görsel ve işitsel haberleşme, farklı ekipmanların kullanılması vb. kilit noktalar vardır. Bu operasyonların görüş seviyesi 3 ve altındaki koşullar altında yapılması, çoğu kez neredeyse yüksek risk içermektedir. Birçok şirketin ve limanın yukarıda belirtilen operasyonlar için özel olarak belirlediği görüş koşulları bulunmaktadır. Gerekli görüş koşulları sağlanmadığı durumlarda, riski ortadan kaldırmak için operasyona ara verilmesi gerekmektedir.

- Seyir esnasında yapılan operasyonlar, en yüksek risk barındıran üçüncü operasyondur. Görüş seviyesi 3 (nötr sis) koşullarında 3,12, görüş seviyesi 2 (sis) koşullarında 3,92, görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşullarında ise 4,45 risk oranına sahiptir.

Seyir esnasında yapılan operasyonlar; yedekleme işlemleri, ana makine arızası nedeni ile driftte kalma, demir fenerinin bilinmeyen bir nedenden dolayı arızalı olduğu ve/veya tamirinin devam ettiği durumlar, ECDIS arızası, kurtarma ve yardım operasyonları vb. kapsamaktadır. Bu operasyonlar yapılırken göz önüne alınması gereken en önemli şey seyir emniyetini sağlamaktır. Bu amaçla uluslararası düzeyde hazırlanmış, sözleşmeler, kural ve kodlar bulunmaktadır. COLREG’de, gemilerin emniyetli hızı ile ilgili olarak, kısıtlı görüşün içinde bulunan durum ve koşullarına göre belirlenmesinin öneminden bahsedilmekte ve kısıtlı görüş durumunda verilmesi gereken ses işaretleri detaylandırılmaktadır. Şirketler, ISM kod (Uluslararası Emniyetli Yönetim Kodu) kurallarına göre kendi prosedürlerini oluşturmaktadırlar. Bu kapsamda, kısıtlı görüş şartlarında, gemilerde yapılacak operasyonlar için prosedürler bulunmaktadır.

- Güvertede yapılan işlemler, görüş seviyesi 2 (sis) koşullarında 3,61, görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşullarında ise 4,19 risk oranında risklidir.

Güvertede yapılan işlemler; bakım & tutum ve boyama işlemleri, manevra hazırlık işlemleri, yüksekte yapılan çalışmalar vb. kapsamaktadır.

- Yük operasyonları, görüş seviyesi 3 (nötr sis) koşullarında 2,68, görüş seviyesi 2 (sis) koşullarında 3,62, görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşulları altında, 4,17 oranında risklidir.

Yük operasyonları; yükleme/tahliye operasyonları, yakıt alım operasyonları, gaz ya da zehirli yük buharı salınımı işlemleri, basınç ve kaçak testleri işlemleri, mekanik kaldırma operasyonları, istifleme/bağlama/depolama operasyonları, sintine, slaç, ODME (yağlı su/atıksu tahliye takip sistemi) işlemleri, basınçlı ve kapalı devrelerde çalışma işlemleri, geminin kış kargo devresiyle kimyasal yük operasyonları, nitrojen jeneratörü kullanımı, gemiden gemiye transfer operasyonları, açık yük numunesi alınması işlemleri, hortum sökülmesi ve bağlanması işlemleri, PV valflerinin kontrol işlemleri, yük tanklarının kontrolü işlemleri, tank/ambar temizleme işlemleri, kapalı mahalle giriş işlemleri, nitrojen kullanma işlemleri, pompa dairesine giriş & çıkış işlemleri vb. kapsamaktadır. Yük operasyonlarında, görüş seviyesi 3 değerinin altına düştüğü zaman riskin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Görüş seviyesi düştüğünde, gemilerde yükleme ve tahliye donanımlarının ortaya çıkaracağı riskler öngörülemez. Güvertede bulunan personel etraftaki tehlikeleri fark edemeyebilir.

Buna bağı olarak olumsuz sonuçlar hızlı bir şekilde artabilir. Bu nedenle, görüşün hızlı bir şekilde düşmesi durumunda, operasyon durdurulmalı veya emniyetli bir hıza düşürülmelidir. Olası riskler konusunda personel bilgilendirilmeli, güverteadaki personel sayıları artırılmalıdır.

- Tamir ve gemi içi operasyonlar, görüş seviyesi 2 (sis) koşulları altında 3,66, görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşulları altında 4,10 oranında risklidir.

Tamir ve gemi içi operasyonlar; elektrik kaynağı/gaz ile kesme işlemleri, elektrik izolasyon işlemleri, taşınabilir ekipmanlar ile yapılan işlemler, güçle çalışanlar dahil el aletleri işlemleri, kargo devrelerinde ve basınçlı devrelerde çalışma, ağır malzemelerin denizli havada taşınması (layner, piston vd), borda dışında yapılan çalışmalar vb. kapsamaktadır.

- Ekipman arıza işlemleri, görüş seviyesi 2 (sis) koşullarında 3,40, görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşulları altında 3,94 oranında risklidir.

Ekipman arıza işlemleri; gas sampling analyser arızası, PV valflerinin sıkışması, seyir cihazları, güverte ekipmanları, emniyet alarm sistemi, yangın alarm sistemi, ODME, oil mist dedector, termal yağ kazanlarının farklı basınç alarmları, reduction gear işlemleri vb. kapsamaktadır.

- Bakım/tutum/tamir işlemleri, görüş seviyesi 2 (sis) koşullarında 3,36, görüş seviyesi 1 (kalın sis) koşullarında 3,91 oranında risklidir.

Bakım/tutum/tamir işlemleri, kuru havuzlama/tersane işlemleri, baş kasara güvertede kaynak işlemleri, paraketelerin temizlenmesi işlemleri, dönüştürücülerin bakımı işlemleri, kinistinlerin bakımı işlemleri, sınırlı/kapalı alanlarda boyama işlemleri, kreyn tellerinin yağlanması işlemleri, kreynlerin boyanması işlemleri, kargo ve balast valflerinin değişimi işlemleri, ana makine piston bakımı işlemleri, akülerin bakım işlemleri, deniz suyu devrelerinde çalışma işlemleri vb. kapsamaktadır. Bu operasyonlar kapalı ortamlarda yapılacaksa, çoğu kez sis göz ardı edilmektedir.

Çizelge 3.5 : Hava durumu için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	1-3 Bofor	4-6 Bofor	7-9 Bofor	11+ Bofor
Yük Operasyonları	1,96	3,10	4,26	4,84
Yanışma/Kalkma/Halat/Demirleme Operasyonları	1,77	3,03	4,29	4,85
Yakıt Değişim Operasyonları	2,03	2,80	3,89	4,54
Balast Alma/Basma/Değişimi İşlemleri	1,63	2,66	3,84	4,47
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	2,10	3,05	4,22	4,87
Güvertede Yapılan İşlemler	1,70	2,87	4,14	4,68
Acil Durum Operasyonları	1,84	3,15	4,21	4,75
Güvertede Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	1,85	3,05	4,15	4,80
Makine Dairesinde Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	1,85	2,73	4,10	4,63
Güvertede Ekipman Arıza İşlemleri	1,68	2,82	3,96	4,66
Makine Dairesinde Ekipman Arıza İşlemleri	1,59	2,57	3,70	4,45
Güvertede Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar	1,80	2,94	4,05	4,75
Makine Dairesinde Tamir ve Gemi İçi Op.	1,78	2,80	3,92	4,50
Ana Makine ve Yardımcı Makine İşlemleri	1,61	2,61	3,70	4,50
Diğer İşlemler	1,31	2,26	3,54	4,22

Ağır hava koşulları, gemi operasyonlarını etkileyen en önemli risk faktörlerindendir. Uluslararası kuruluşlar, birçok gemi işletmeciliği yapan şirketler ve gemiler, ağır hava koşullarında geminin emniyetini sağlayabilmek için gemi operasyonlarının yapılacağı koşullar ve alınması gereken önlemler hakkında kural, kod ve prosedürler geliştirmiştir. Uzman görüşlerine göre, hava durumunun gemi operasyonları üzerindeki risk değerleri Çizelge 3.5’te verilmiştir. Hava durumunun gemi operasyonları üzerindeki risk değerlendirmesi, sırasıyla;

- Seyir esnasında yapılan işlemlerde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 4-6 Bofor iken 3,05 risk oranı ile orta risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,22 çok kuvvetli risk görülmektedir.
- Yanışma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarında, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 4-6 Bofor iken 3,03 risk oranı ile orta risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,29 çok kuvvetli risk görülmektedir.
- Yük operasyonlarında, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 4-6 Bofor iken 3,10 risk oranı ile orta risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,26 çok kuvvetli risk görülmektedir.

- Güvertede bakım/tutum/tamir işlemlerinde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 4-6 Bofor iken 3,05 risk oranı ile orta risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,15 çok kuvvetli risk görülmektedir.

Seyir esnasında yapılan işlemler, yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonları, yük operasyonları, güvertede bakım/tutum/tamir işlemleri ağır hava koşullarında en yüksek risk oranlarına sahip gemi operasyonlarıdır. Bu operasyonların, hava durumu 5+ Bofor iken gerçekleştirilmesi gemi emniyeti için kritik tehlikeler oluşturacaktır. Seyir esnasında, COLREG kapsamında çalışır radarı olan gemilerin emniyetli hızı belirlenirken, hava durumunun radar üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerekliliğinden bahsedilmiştir. Deniz durumu, 5 Bofor ve üzerinde iken halat manevrasında halatların patlaması ve personelin zarar görmesi olasıdır. Birçok liman, bu operasyonlar için belirli kriterler belirleyerek operasyonun devam edip etmeyeceğine karar vermektedir. Yükleme ve tahliye işlemleri deniz durumu 5 Bofor altındayken yapılmalıdır. Hava 5 Bofor ve üzerinde iken operasyon azami dikkatle yapılmalıdır. Hava 6 Boforun üzerinde iken risklerin artacağı değerlendirilmiştir. Güvertedeki personel sayısının artırılması, halatların çoğaltılması ve sürekli kontrol edilmesi, personelin bilgilendirilmesi gibi riski azaltacak ek önlemlerin alınması önemlidir.

- Acil durum operasyonlarında, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 3-6 Bofor iken 3,15 oranı ile orta risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,21 oranı ile çok kuvvetli risk barındırdığı görülmektedir.
- Güvertede tamir ve gemi içi operasyonlarda, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,05 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Hava durumunun zorlayıcı olması özellikle acil durum operasyonlarında (freefall'un indirilmesi, talimlerin yapılması vb. durumlarda) oldukça zorlayıcı olmaktadır. Bu koşullar altında, gerçekleştirilmek zorunda kalınan operasyonlarda olası kazalar ve tehlikelerin olması muhtemeldir.

- Güvertede yapılan işlemlerde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,14 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Ağır hava koşullarında, çoğu kez güverte su altında kalacağı için operasyon gerçekleştirilmemektedir. Yapılması zorunlu olan durumlarda da birçok emniyet tedbirinin alınması gerekmektedir.

- Güvertede ekipman arıza işlemlerinde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 3,96 oranı ile orta risk, 11 Bofor ve üzerine çıktığında 4,66 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Bu operasyonun risk değerlendirme sonuçları, güvertede yapılan işlemlerde belirtilen sebeplerden kaynaklanmaktadır.

- Makine dairesinde bakım/tutum/tamir işlemlerinde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 4,10 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Ağır hava koşullarında, makine dairesinde yapılan işlemler daha zorlayıcıdır. Makine dairesinde, hassas işlem gerektiren durumlarda hava koşulları ayrıca risk oluşturmaktadır.

- Yakıt değişim operasyonlarında, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 3,89 oranı ile orta risk, 11 Bofor ve üzerine çıktığında 4,54 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Yakıt değişim operasyonları yüksek sülfürlü akaryakıt (HSFO)'tan düşük sülfürlü akaryakıt (LSFO)'a geçiş operasyonlarını kapsamaktadır. Ağır hava koşullarında, tankların serbest yüzey momenti parlayıcı, patlayıcı alan oluşturabilmekte ve tank taşmalarına sebep olabilmektedir. Bu tehlikeler, gemiler için yüksek derecede risk taşımaktadır.

- Ana makine ve yardımcı makine işlemlerinde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 3,70 oranı ile orta risk, 11 Bofor ve üzerine çıktığında 4,50 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Ana makine ve yardımcı makine işlemleri; ana makine yağlama/ısıtma, makinenin sıcak tutulması, devredeki valflerin açılması, yakıt devresi pompalarının çalıştırılması, makinenin basınçlı hava ile çalıştırılması işlemleri vb. kapsamaktadır. Ağır hava

koşulları, makine dairesinde de riskler oluşturmaktadır. Ağır hava koşullarında, gemilerde yeterli balast olmaması gemi pervanesinin verimli kullanılmasını etkilemektedir. Yani, pervane açıkta kalabilir. Bu durum, makineye aşırı yük binmesine ve sıcaklıkların artmasına sebep olacaktır.

- Makine dairesinde tamir ve gemi içi operasyonlar, 4,50 oranında risklidir. rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 3,92 oranı ile orta risk, 11 Bofor ve üzerine çıktığında 4,50 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Yüksek havalarda, makine dairesindeki çalışma koşulları oldukça zorlayıcıdır. Makine dairesinde, hassas işlem gerektiren durumlarda hava koşulları ayrıca risk oluşturmaktadır.

- Balast alma/basma/değişimi işlemlerinde, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az risk, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 3,84 oranı ile orta risk, 11 Bofor ve üzerine çıktığında 4,47 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Gemi balast değişimleri, ağır hava koşullarının olmadığı durumlarda (swellsiz ve dalgasız) yapılmaktadır. Bu durum, hem tankların yapısına zarar gelmemesi hem de stabilitenin olumsuz etkilenmemesi ve seyir emniyetinin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Balast operasyonlarında hava durumunun zorlayıcı olması balast tanklarının taşmasına ya da balast pompalarına fazla yük binmesine sebep olacaktır. Ağır hava koşullarında, denizde balast suyu değişimini etkileyebilecek pompa arızası, elektrik kesintisi vb. gibi durumlara ilişkin, muhtemel eylem prosedürleri dikkate alınmalıdır. Eğer taşıma yöntemi kullanılacaksa, taşan suyun oluşturduğu kaygan, ıslak güverte yüzeyi nedeniyle gemi adamının düşüp yaralanma risklerini ortadan kaldırmak ve dondurucu soğuk hava koşullarında güvertede çalışmak durumunda olan gemi adamının emniyetini sağlamak için gerekli KKE'ler kullanılmalı ve gemi adamının emniyetini sağlayacak önlemler alınmalıdır. Gemi adamının ve geminin emniyeti için tehlike oluşturabilecek koşullarda balast suyu değişimi işlemi yapılmamalıdır. Operasyon esnasında, geminin konumu ve durumu, hava koşulları, makinelerin performansı, gemi adamının yorgunluk düzeyi vb. hususlar dikkate alınmalı herhangi bir olumsuz durum ile karşılaşılsa, işlem bekletilmeli ya da durdurulmalıdır (BWMP, Bölüm 6-7-8).

- Makine dairesinde ekipman arızası giderme çalışmalarında, rüzgar kuvveti 1-3 Bofor ve 4-6 Bofor iken az riskli, rüzgar kuvveti 6 Bofor ve üzerine çıktığında 3,70 oranı ile orta risk, 11 Bofor ve üzerine çıktığında 4,45 oranı ile çok kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Makine dairesinde ekipman arızası giderme çalışmaları; gas sampling analyser arızası, PV valflerinin sıkışması, seyir cihazları, güverte ekipmanları, emniyet alarm sistemi, yangın alarm sistemi, ODME, oil mist dedector, termal yağ kazanlarının farklı basınç alarmları, reduction gear işlemleri vb. kapsamaktadır. Bu operasyonların hassas olması sebebi ile riskli olarak değerlendirilmiştir. Ağır hava koşullarında, gemilerin baş-kıç, sancak-iskeleye yatacak olması, gemi stabilitesini etkileyerek hem yaşam mahallindeki personelin gündelik hayatına hem de gemi operasyonlarına etki edecektir.

Gemi konumunun limanda, demirde, kıyısularda, açık denizde, iç denizde/körfezde, dar kanallarda, boğazlarda, trafik ayırım bölgelerinde olması durumları için risklerin değerlendirilmesi uzmanlardan görüşleri alınmıştır (Çizelge 3.6). Operasyonun yapılmadığı konumlar için uzman görüşleri alınmamıştır. Örneğin; COLREG kapsamında (Bölüm B, Kısım 1, Kural 9), koşullar elverdiği takdirde, dar bir kanalda demirleme yapılamaz. Bir gemi, trafik ayırım düzeni içinde veya bu düzenin sonlarına yakın alanlarda demirlemekten mümkün olduğu kadar kaçınılacaktır (COLREG, Bölüm B, Kısım 1, Kural 10). Uzmanlara görüşlerine göre;

- Yük operasyonlarının limanda 2,94 oranı ile düşük risk, demirde 3,08 ve açık denizde 3,24 oranı ile orta risk, iç denizde/körfezde iken 3,91 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Gemi konumunun limanda, demirde, kıyısularda, açık denizde, iç denizde/körfezde, dar kanallarda, boğazlarda, mümkün olduğu kadar kaçınılacaktır (COLREG, Bölüm B, Kısım 1, Kural 10). Uzmanlara görüşlerine göre;

Yük operasyonlarının iç deniz ve körfezde gerçekleştirilmesi özellikle tank yıkama operasyonlarından sonra yıkama sularının kurallar dahilinde denize basılması durumlarını içerdiği için risklidir. Yük operasyonlarının ayrıca açık denizde ve demirde gerçekleştirilmesi de riskli olarak değerlendirilmekte olup burada operasyonların risk ihtiva etmesi önemli etken olmuştur.

Çizelge 3.6 : Geminin bulunduğu konum için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Liman	Liman giriş ve çıkışları	Demir	Kıyısalsular	Dar Kanallar	Boğazlar	Trafik Ayrım Bölgeleri	İç deniz/ Körfez	Açık deniz
Yük Operasyonları	2,94		3,08					3,91	3,24
Yakıt Değişim Operasyonları	2,57			2,85	3,92	4,07	3,75		2,01
Balast Alma/Basma/Değişimi İşlemleri	2,77			2,70			3,12		2,17
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	4,47			3,63	4,17	4,31	3,82		1,96
Güvertede Yapılan İşlemler	2,78	3,68		2,80	3,47	3,50	3,19		1,91
Acil Durum Operasyonları	2,70		2,56	3,14	4,10	4,24	4,03		2,49
Ekipman Arıza İşlemleri			2,59	3,10	3,75	3,87	3,61		2,21
Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar			2,73	3,10	3,75	3,82	3,49		2,43
Ana Makine ve Yardımcı Makine İşlemleri			2,24	3,08	3,68	3,89	3,66		2,00
Diğer İşlemler			1,96	2,05	2,47	2,49	2,42		1,71

İç Deniz, körfez ya da gemi kaynaklı kirliliğin yakın takip edildiği deniz alanları (Particularly Sensitive Sea Area-PSSA)'nda, örneğin, iç deniz olan Kuzey Çin'de bulunan ve Sarı Deniz'in iç karaya uzanan kısmı BOHAI SEA olarak adlandırılan bölgeyi ele aldığımızda, burası yapılan son düzenlemeler çerçevesinde hem uluslararası konvansiyonlar hem de Çin devletinin almış olduğu kararlar bakımından hassas deniz bölgesi olarak ilan edilmiştir. 'Gemi Kaynaklı Hava Kirliliği MARPOL Ek VI' kapsamında gemi kaynaklı çöp ve yük kalıntılarının bu bölgede denize boşaltılması tamamen yasaklanmıştır. Bu bölge içerisinde; tahliye ardından yükleme yapan gemiler, özellikle dökme yük gemileri, tahliye sonrasında yük kalıntılarını belirli alanlarda toplamakta ve ambar yıkama sularının kalıntılarını gathering tank adı verilen tanklarda toplamaktadırlar. Hem operasyonel bakımdan zorlukların yaşanması hem de bölgenin deniz kirliliği bakımından özel bölge ilan edilmesi bu tür operasyonları oldukça riskli kılmaktadır. Bu sebeple, bazı şirketlerin yükleme/tahliye/STS operasyonlarının bu bölgelerde yapılmadan önce Risk Analizi (RA) yapılmasını ve yapılan RA'nın şirket ofisine gönderilmesini, DPA (Designated Person Ashore) tarafından onaylandıktan sonra operasyonların gereğince yerine getirilmesini istemektedirler.

Gemide, her ne kadar nihai karar merci olarak tüm operasyonlardan gemi kaptanı sorumlu olsa da bu bölgelerde yapılan bazı yük operasyonları hazırlıklarının DPA tarafından onayının beklenmesi bu bölgelerin yükleme/tahliye/STS bakımından ne kadar kritik alanlar olduğunu da desteklemektedir. Çin örneğinde olduğu gibi dünyada bazı körfezlerde ya da iç denizlerde de bu tür sıkı uygulamalar mevcuttur.

- Yakıt değişim operasyonlarının trafik ayırım bölgelerinde 3,75 ve dar kanallarda 3,92 oranı ile yüksek risk, boğazda iken 4,07 oranı ile kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Yakıt değişim operasyonları bazı bölgelerde kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmekte olup dikkat gerektiren riskli operasyonlardandır. Bu sebeple, bu operasyonların özellikle boğazlar, dar kanallar ve trafik ayırım bölgelerinde yüksek riskli çıkmasının temel nedeni, bu bölgelerde gemiler seyir yaparken gerek güverte gerekse makine departmanları kendi bölümlerinde olası acil durumlar için hazır bulunmaları gerekeceğinden bu bölgelerden geçerken yakıt değişim operasyonlarının riskli olduğu uzmanlar tarafından belirlenmiştir.

- Balast alma/basma/değişimi işlemlerinin açık denizde 2,17, kıyısularda 2,70 ve limanda 2,77 oranı ile düşük risk, trafik ayırım bölgelerinde iken 3,12 oranı ile orta risk taşıdığı görülmektedir.

Balast operasyonları belirli kurallar çerçevesinde yapılmakta ve sıkı bir şekilde takip edilmektedir. Gemi balast suyu ve sedimanların kontrolü ve yönetimi alanındaki uluslararası konvansiyonlar, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tavsiye kararları dikkate alındığında ve Ballast Suyu Yönetim Planı (BWMP) çerçevesinde değerlendirildiğinde gemilerin balast suyu değişimlerinin hem ekolojik çevreye zarar vermesi hem de hastalık yayıcı unsurların çoğalmasına sebebiyet vermesinden ötürü, balast alma/basma/değişimi işlemleri, belirli standartlara bağlanmıştır. Örneğin; normal koşullarda, gemiler balast suyu değişimini derin sularda, açık okyanusta ve kıyıdan mümkün olduğunca uzakta gerçekleştirmelidirler. Balast suyu değişimi, en yakın karadan en az 200 deniz mili uzakta ve 200 m derinlikte yapılmalıdır. Bu şartlarda balast suyu değişimi yapılmasının mümkün olmadığı hallerde, en yakın kıyıdan mümkün olduğunca uzakta ve her koşulda en yakın kıyıya en az 50 deniz mili mesafede ve 200 metre derinlikteki suda yapılmalıdır (BWMP, Bölüm 5, 9).

Limanlarda balast alma/basma işlemi yapılmaktadır. Ancak, normal şartlarda, dar kanallarda ve boğazlarda, balast suyu değişimi işlemi yapılamaz. Kuzey Denizi'nde İngiltere-Hollanda aksında, trafik ayırım bölgelerinin karadan çok uzak alanları düşünüldüğünde balast alma/basma işlemi yapılabilir. Geminin alargada da (Hindistan, Bangladeş vb. yerlerde) yükleme/boşaltma işlemi yapılması mümkündür.

Trafik ayırım bölgelerinde, seyir yapılırken balast suyu değişimi işleminin riskli bulunmasındaki temel sebep, bu bölgelerde seyir yaparken olası trafik yoğunluğu ve birçok bölgede özel alan (PSSA) olarak kabul görmesinden kaynaklanmaktadır. PSSA; IMO tanımı gereği, korunması için IMO tarafından özel koruma önlemi gerektiren alanlar olup ekolojik, sosyo-ekonomik veya bilimsel sebeplerden dolayı zarar verildiğinde hasarın çok fazla olacağı alanlardır. IMO, bu alanların belirlenmesi için özel kriterler koymuştur. Özel alanlar, Marpol Ek 1, 2, 5 veya 6 gereği belirlenebilir. Özellikle, PSSA olduğu onaylanan bir deniz alanının o bölgedeki deniz faaliyetlerini kontrol etmek için rota önlemleri alınabilir. PSSA olarak belirlenen alanlar, girilmesi istenmeyen alan veya özel seyir gereklilikleri belirlenebilir. Eğer PSSA alanı için özel bir Trafik ayırım düzeni benimsenmiş ise, o bölgede seyir yapılmalıdır.

- Seyir esnasında yapılan işlemlerin açık denizde 1,96 oranı ile düşük risk, kıyısul sularda 3,63, limanda 3,70, trafik ayırım bölgelerinde 3,82 oranları ile yüksek risk, dar kanallarda 4,17 ve boğazlarda 4,31 oranları ile kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Seyir bölgesinin daha dar kanallar olması durumunda olası bir arıza durumunda hızlı bir şekilde tehlikeye sürüklenebilecektir. Yoğun trafikten ve karadan uzaklaştığı müddetçe olası kaza ve hataların düzeltilmesi için yeterli zaman olacaktır. Operasyonun limanda yapılması olası bir tehlike durumunda liman ve terminalin, kıyı tesislerinin limanda çalışan personelin can güvenliğini tehlikeye düşürecektir.

- Güvertede yapılan işlemlerinin açık denizde 1,91 oranı ile çok düşük risk, limanda 2,78 ve kıyısul sularda 2,80 oranları ile düşük risk, trafik ayırım bölgelerinde 3,19, dar kanallarda 3,47, boğazlarda 3,50 ve liman giriş ve çıkışlarında 3,68 oranları ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Liman giriş çıkışlarında güvertede yapılan işlemlerin yüksek oranda risk içermesindeki temel sebep; limana yaklaşırken ve limandan ayrılırken gemilerin olası acil durumlarda hazır halde bulunması gerekir, örneğin bir gemi limana yanaşacakken artık yükleme/tahliye operasyonu için hazır olması gerekmektedir. Bu sebeple, birçok liman yanaşmadan önce ya da kalkıştan önce gemilerin sefere hazır olmasını ve önemli ekipmanlarının çalışır ve hazır olmasını bekler. Örneğin; limandan kalkış ya da limana yanaşma operasyonlarında, güvertede halat manevrası önem kazanmaktadır. Bu sebeple, bu operasyonların yapılması halat manevraları süresince tehlike içermektedir. Boğazlarda, dar kanallar ve trafik ayırım bölgelerinde aynı şekilde yakın olarak riskli olduğu tespit edilmiş olup; bu bölgelerde esas odaklanması gereken nokta geminin emniyetli şekilde seyir yapmasını sağlamak ve güvertede olası acil durumlar için demir manevrası ya da diğer manevra tipleri için hazır personel ve ekipman olması gerekmektedir.

- Acil durum operasyonlarının açık denizde 2,49, demirde 2,56, limanda 2,70 oranları ile düşük risk, kıyısul sularda 3,14 oranı ile orta risk, trafik ayırım bölgelerinde 4,03, dar kanallarda 4,10 ve boğazlarda 4,24 oranları ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Acil durum operasyonları kendi içerisinde çok dikkat gerektiren ve tehlikeler içeren operasyonlardır. Bu operasyonların boğazlar ve dar kanallarda riskli olarak tespit edilmesindeki esas sebep bu bölgelerde zaten seyir yapmanın oldukça riskli olmasıdır.

- Ekipman arıza işlemlerinin açık denizde 2,21 ve demirde 2,59 oranları ile düşük risk, kıyısularda 3,10 oranı ile orta risk, trafik ayırım bölgelerinde 3,61, dar kanallarda 3,75 ve boğazlarda 3,87 oranları ile yüksek risk barındırdığı görülmektedir.

Boğazlarda seyir yaparken ekipman arızasının yüksek riskli çıkmasındaki temel sebep, boğazlarda seyir yapan ya da yapacak olan gemilerden boğaz geçişi için emniyetli ve tüm ekipmanlarının çalışır durumda olmasının istenmesidir. Diğer konumlarda operasyon riskinin yüksek çıkmasının sebebi aynı olup bu bölgelerde yaşanabilecek olası acil durumlar için gemilerin birincil ve ikincil sistemlerinin çalışır olması istenmektedir.

- Tamir ve gemi içi operasyonlarının açık denizde 2,43 ve demirde 2,73 oranları ile düşük risk, kıyısularda 3,10 oranı ile orta risk, trafik ayırım bölgelerinde 3,49, dar kanallarda 3,75 ve boğazlarda 3,82 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Ekipman arıza işlemleri ile aynı risk sebeplerini barındırmaktadır.

- Ana makine ve yardımcı makine işlemlerinin açık denizde 2,00 ve demirde 2,24 oranları ile düşük risk, kıyısularda 3,08 oranı ile orta risk, trafik ayırım bölgelerinde 3,66, dar kanallarda 3,68 ve boğazlarda 3,89 oranları ile yüksek risk barındırdığı görülmektedir.

Ana makine ve yardımcı makine sistemleri geminin tahrik sistemleridir. Boğazlarda yaşanacak olası bir arıza ya da kritik işlemlerin hata vermesi büyük kazalara ve hasara sebebiyet verebilir. Dar kanallar, trafik ayırım bölgeleri ve kıyısularda; seyir de benzer sebeple karaya yakın olması ve olası acil durumlarda büyük tahribata sebep olabilmesi sebebi ile yüksek risk oranları çıkmıştır.

Çizelge 3.7 : Operasyonun yapıldığı zaman için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Gündüz	Gece
Yük Operasyonları	2,45	3,64
Yanaşma/Kalkma/Halat/Demirleme Operasyonları	2,21	3,50
Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	2,29	3,66
Yakıt Değişim Operasyonları	2,36	3,14
Balast Alma/Basma/Değişimi İşlemleri	2,19	3,10
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	2,52	3,70
Güvertede Yapılan İşlemler	2,15	3,77
Acil Durum Operasyonları	2,59	4,00
Ekipman Arıza İşlemleri	2,33	3,52
Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar	2,42	3,77
Ana Makine ve Yardımcı Makine İşlemleri	2,22	3,15
Diğer İşlemler	1,71	2,75

Operasyonun yapıldığı zaman dilimi, uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Çizelge 3.7'ye göre, neredeyse tüm gemi operasyonlarının gece gerçekleştirilmesi yüksek oranda risk içermektedir. Gemi operasyonlarında, hem gemi adamının can güvenliği hem de operasyonların emniyetli yürütülebilmesi için insan faktörü çok önemlidir. Gemi adamlarının çalışma ve dinlenme saatleri, STCW (Gemi Adamlarının Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Tutma Standartları) kapsamında detaylı olarak belirlenmiştir. Geminin emniyetli ve güvenli şekilde idare edilmesini sağlamak ve gemi adamlarının yorulmasından ötürü oluşabilecek tehlikeleri önlemek için gemi adamlarının çalışma ve dinlenme saatlerinin STCW şartlarına uygun olması önemlidir. Gemi adamlarının vardiya tutma düzenleri, gemide mevcut bulunan personel sayısına göre belirlenmelidir. STCW'ye göre, her gemi adamının herhangi bir 24 saatlik periyot içinde asgari 10 saat dinlenmesi ve 7 günlük periyot içinde de 70 saat dinlenmesi sağlanmalıdır. Dinlenme sürelerinin birden fazla bölümler halinde uygulanması durumunda, bu bölümlerden biri 6 saatten az olmamalı ve birbirini takip eden dinlenme periyotlarının arasındaki süre 14 saati aşmamalıdır. Güvertedeki gemi adamlarının ya da yükün acil emniyeti ya da denizde kurtarılmayı bekleyen diğer gemilere ya da şahıslara destek vermek için Kaptan, gemi adamının dinlenme saatlerini erteleyebilir ve normal duruma dönünceye kadar herhangi bir gemi adamının gerekli olduğu şekilde herhangi bir süre boyunca çalışmasını isteyebilir (STCW, Kısım A, Bölüm 8).

- Acil durum operasyonları için gece yapılması 4,00 oranı ile en yüksek riskli operasyon olarak belirlenmiştir.

Gemi adamı algısının azalması ve gemi adamının yorgun olması, görüş seviyesinin düşmesi risk seviyesini artıracak etkenlerdir.

- Güvertede yapılan işlemler ile tamir ve gemi içi operasyonlarının gece yapılması 3,77 oranı ile yüksek riskli görülmektedir.

Gece yapılan operasyonlarda, olası tehlikeli durumlarda, görüşün azalması hata yapma oranını artırmaktadır. Yapılması planlanan operasyon acil değilse, gündüz yapılması önerilmektedir.

- Balast alma/basma/değişimi işlemlerinin 3,10, yakıt değişim operasyonlarının 3,14 ve ana makine ve yardımcı makine işlemlerinin 3,15 oranları ile orta risk, yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarının 3,50, ekipman arıza işlemlerinin 3,52, bakım/tutum/tamir işlemlerinin 3,66, yük operasyonlarının 3,64 ve seyir esnasında yapılan işlemlerin 3,70 oranları ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Bu risklerin temel sebebi, gece operasyonlarında görüşün azalmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin; yanaşma/kalkma/halat manevralarında personelin emniyeti açısından gece yapılması oldukça tehlikelidir, ancak sektörün devam etmesi ve tedarik zincirinin devam etmesi açısından gece-gündüz birçok operasyon devam etmektedir. Bu sebeple olası risklerin azaltılması için ortamın aydınlatılması, personelin yeteri kadar dinlenmiş olması önemlidir. Yük operasyonun gece yapıldığı durumlarda güvertenin daha fazla aydınlatılması, personelin olası riskler konusunda bilgilendirilmesi önemlidir.

Çizelge 3.8 : Akıntı hızı için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Yok	0-1 knot	2-4 knot	4+ knot
Yük Operasyonları	1,50	1,92	2,80	3,96
Yanaşma/Kalkma/Halat/Demirleme Operasyonları	1,49	2,01	3,21	4,29
Yakıt Değişim Operasyonları	1,68	1,94	2,47	3,24
Balast Alma/Basma/Değişimi İşlemleri	1,52	1,92	2,36	2,96
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	1,70	2,22	3,12	4,10
Güvertede Yapılan İşlemler	1,56	1,89	2,45	3,07
Acil Durum Operasyonları	1,59	2,35	3,42	4,26
Ekipman Arıza İşlemleri	1,45	1,82	2,35	3,00
Ana Makine ve Yardımcı Makine İşlemleri	1,50	1,89	2,56	3,31
Diğer İşlemler	1,28	1,49	1,78	2,22

Akıntı hızı, gemilerde yapılan operasyonların büyük bir kısmı için dikkat ve önem arz etmektedir. Çizelge 3.8’de verilen uzman görüşlerinde göre;

- Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarında, akıntı hızı 2-4 knot iken 3,21 oranı ile yüksek risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 4,29 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Yüksek akıntı olan bölgelerde bu operasyonlar tehlikeli olup, akıntının hesaba katılarak manevra yapılması gerekmektedir. Örneğin; yüksek akıntı sebebi ile demir bölgesi geçilebilir ya da yanaşma kalkış manevralarında ek desteğe ihtiyaç duyulabilir ya da halat manevrasında halatlara ya da personele zarar vermesine sebep olabilir.

- Acil durum operasyonlarında, akıntı hızı 2-4 knot iken 3,42 oranı ile yüksek risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 4,26 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Acil durumlarda, örneğin makine arızası durumunda akıntı ile baş edilmesi oldukça zor olacak ve ek desteğe ihtiyaç duyulacaktır.

- Seyir esnasında yapılan işlemlerde, akıntı hızı 2-4 knot iken 3,12 oranı ile yüksek risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 4,10 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Akıntı olan bölgelerde, geminin kendi rotasında ve belirlenmiş hızda emniyetli bir şekilde gitmesine dikkat edilmelidir. Gemilerin emniyetli hızı belirlenirken; akıntı durumu ve seyir tehlikelerinin yakınlığı dikkate alınmalıdır. (COLREG, Bölüm B, Kısım 1, Kural 6).

- Yük operasyonlarında, akıntı hızı 2-4 knot iken 2,80 oranı ile orta risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 3,96 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Yük operasyonlarında, limanda akıntı hızının 1 knot’u geçmesi durumunda risklerin artacağı değerlendirilmiştir. Bu durumda, halatların sayısı, durumu, niteliği ve doğru konumlandırılması önemli hale gelir. Özellikle, gelgit durumunda hem gelgit akıntısı nedeniyle hem de su yüksekliğinin değişmesi nedeniyle halatlardaki gerilme ve yüklenmeler değişkenlik gösterecektir.

Yük operasyonlarında, akıntının yüksek olduğu bölgelerde, sabit bir rotada ve hızda seyir yapılırken özellikle tank yıkama ve ODME’nin kullanılması riskli olacaktır.

- Ana makine ve yardımcı makine işlemlerinde, akıntı hızı 2-4 knot iken 2,56 oranı ile orta risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 3,31 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Seyir durumuna göre ters bir akıntı ile karşılaşıldığında, makineye fazladan yük binmesine sebep olacaktır.

- Yakıt değişim operasyonlarında, akıntı hızı 2-4 knot iken 2,47 oranı ile orta risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 3,24 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.
- Güvertede yapılan işlemlerde, akıntı hızı 2-4 knot iken 2,45 oranı ile orta risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 3,07 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.
- Ekipman arıza işlemlerinde, akıntı hızı 2-4 knot iken 2,35 oranı ile orta risk, 4 knot ve üzerine çıktığında 3,00 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.
- Balast alma/basma/değişimi işlemlerinde, akıntı hızı 2-4 knot iken 2,36 ve 4 knot ve üzerine çıktığında 2,96 oranı ile orta risk taşıdığı görülmektedir.

Akıntı hızı diğer operasyonları doğrudan etkilerken, daha az risk barındırmasından dolayı balast alma/basma/değişimi işlemlerini diğerlerine nazaran daha az etkilediği görülmektedir.

Çizelge 3.9 : Gelgit durumu için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Yok	Alçak Gelgit	Yüksek Gelgit
Yük Operasyonları	1,52	3,29	3,33
Yanaşma/Kalkma/Halat/Demirleme Operasyonları	1,59	3,43	3,42
Yakıt Değişim Operasyonları	1,64	3,01	2,96
Güvertede Yapılan İşlemler	1,50	2,71	2,66

Bulunulan konumda, var olan su derinliği ile gemi su çekiminin ilişkisi göz önünde bulundurulmalıdır (COLREG, Bölüm B, Kısım 1, Kural 6). Uzman görüşlerine göre, yüksek ve alçak gelgitin gemi operasyonları için oluşturduğu risklerin değerlendirmesi Çizelge 3.9’da verilmiştir. Sırasıyla;

- Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarının yüksek gelgit durumunda 3,42, alçak gelgit durumunda 3,43 oranları ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir. En riskli operasyon olarak değerlendirilmiştir.

Birçok Avrupa limanlarında, yüksek gelgit sebebi ile yanaşma/kalkma manevraları ertelenmekte ve gemilerin draftları sebebi ile uygun zamanın gelmesini beklemeleri gerekmektedir. Halat manevrası süresince ve gemi limana bağlı iken halatların kopmasını ve/veya gemi adamına zarar vermesini önlemek için gelgit olan bölgelerde, sürekli halatların kontrol edilmeli ve gelgitin en yüksek ve en düşük olduğu süreler önceden alınmalıdır. Bu operasyonların alçak gelgit koşullarında yapılması, gemi draftının yeterli su seviyesini karşılamayacak olmasından kaynaklanmaktadır.

- Yük operasyonlarının yüksek gelgit durumunda 3,33, alçak gelgit durumunda 3,29 oranları ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Gelgit durumunda, su yüksekliğinin değişmesi nedeniyle halatlardaki gerilme ve yüklenmeler değişkenlik göstermektedir. Yük operasyonlarında, suyun hızlı yükselip alçalması yük operasyonları açısından risk oluşturmaktadır. Yükleme durumunda, draftın artacak olması ve gel-git zamanında en düşük suyun olduğu saatlerde yüksek draftlı gemilerin karaya oturması riski bulunmaktadır. Gelgit durumu, yükleme operasyonlarını kısıtlayabilir. Özellikle tankerlerde yükleme hortumuna/koluna özel dikkat gösterilmektedir. T ankerlerde, yük hortumlarının rıhtımla gemi arasında sıkışması, yükleme hortumlarının ve kollarının kırılması gibi riskler taşımaktadır. Personel akıntı hızı, yönü, alçak ve yüksek su zamanları konularında bilgilendirilerek, halatların gerilmesi durumunda boş konulması, boşaldığı durumda da boşunun alınması gerekmektedir.

- Yakıt değişim operasyonlarının yüksek gelgit durumunda 2,96, alçak gelgit durumunda 3,01 oranları ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Gemilerin draft kısıtlamaları göz önüne alınırsa, alçak gelgit durumunda geminin deniz dibine temas etme riski bulunmaktadır.

- Güvertede yapılan işlemlerin yüksek gelgit durumunda 2,66, alçak gelgit durumunda 2,71 oranı ile düşük riskli olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.10 : Trafik yoğunluğu için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Az	Orta	Çok
Yanaşma/Kalkma/Halat/Demirleme Operasyonları	1,85	2,75	3,80
Seyir Esnasında Yapılan İşlemler	2,24	3,22	4,22
Güvertede Yapılan İşlemler	1,89	2,49	3,12
Acil Durum Operasyonları	2,17	3,21	4,21
Ekipman Arıza İşlemleri	2,05	2,80	3,59
Ana Makine ve Yardımcı Makine İşlemleri	1,94	2,77	3,63
Diğer İşlemler	1,35	1,64	2,08

Trafik yoğunluğu geminin emniyetini doğrudan etkilemektedir. Geminin emniyetli seyri için trafik yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde, özellikle çatışmadan kaçınmada, COLREG kuralları oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Böyle durumlarda, vardiya zabitlerinin COLREG kurallarını ve seyir yapılan bölgenin yerel trafik kurallarını uygulaması, emniyetli seyir için elzemdir. Uzman görüşlerine göre, gemi operasyonlarının liman trafik yoğunluğu açısından risk değerlendirmesi (Çizelge 3.10.) sırasıyla;

- Seyir esnasında yapılan işlemlerde, trafik yoğunluğunun orta olması durumunda 3,22 oranı ile orta risk, trafik yoğunluğunun çok olması durumunda 4,22 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Seyir esnasında trafik yoğunluğu, en önemli konulardan biridir ve olası bir acil durumla karşılaşılması durumunda, trafik yoğunluğu, çevre gemilerin de riske girmesine sebep olabilir. Çatışmayı önlemek üzere, uygun ve etkili harekete geçebilmek ve içinde bulunulan durum ve koşulların gerektirdiği bir mesafede durdurulabilmesi için, gemilerin emniyetli bir hızla seyir yapması gerekliliği COLREG’de belirtilmiştir. Gemilerin emniyetli hızı saptanırken balıkçı tekneleri veya diğer teknelerin bir araya toplanmış durumu dahil trafik yoğunluğu dikkate alınacaktır (COLREG, Bölüm B, Kısım 1, Kural 6).

- Acil durum operasyonlarında, trafik yoğunluğunun orta olması durumunda 3,21 oranı ile orta risk, trafik yoğunluğunun çok olması durumunda 4,21 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.
- Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarında, trafik yoğunluğunun orta olması durumunda 2,75 oranı ile düşük risk, trafik yoğunluğunun çok olması durumunda 3,80 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

- Ana makine ve yardımcı makine işlemlerinde, trafik yoğunluğunun orta olması durumunda 2,77 oranı ile düşük risk, trafik yoğunluğunun çok olması durumunda 3,63 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.
- Ekipman arıza işlemlerinde, trafik yoğunluğunun orta olması durumunda 2,80 oranı ile düşük risk, trafik yoğunluğunun çok olması durumunda 3,59 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.
- Güvertede yapılan işlemlerinde, trafik yoğunluğunun orta olması durumunda 2,49 oranı ile düşük risk, trafik yoğunluğunun çok olması durumunda 3,12 oranı ile yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Operasyon yapılan bölgedeki diğer gemiler veya balıkçı gemileri veya diğer tipte teknelerin olması trafik yoğunluğunu artırabilir. Bu durum operasyon için tehlike arz etmektedir.

Çizelge 3.11 : Seyir bölgesi için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Buzlu sularda	Soğuk sularda	Tropikal sularda
Acil Durum Operasyonları	4,21	3,40	2,35

Uzman görüşlerine göre, operasyon yapılan seyir bölgesi için risk değerlendirmesi Çizelge 3.11’de verilmiştir. Sırasıyla;

- Acil durum operasyonlarında, tropikal sularda 2,35 oranı ile düşük risk, soğuk sularda 3,40 oranı ile yüksek risk, buzlu sularda 4,21 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görülmektedir.

Buzlu sularda seyir yapmak için birçok standardın (ice-navigation sertifikası, vb.) sağlanması gerekmektedir. Bu bölgelerde; meteorolojik koşulların zorluğu, sefer bölgesinin ve deniz durumunun zorluğu göz önüne alındığında, bu bölgelerde acil durum operasyonlarının yapılması olası acil durumlarda daha riskli olacaktır.

Çizelge 3.12 : Operasyonun yapıldığı yer için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Güvertede	Makinede	Yaşam mahallinde
Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	3,00	3,05	2,56
Acil Durum Operasyonları	2,91	3,03	2,61
Ekipman Arıza İşlemleri	2,84	2,98	2,52
Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar	3,17	3,35	2,80

Uzman görüşlerine göre, gemi içerisinde operasyonun yapıldığı yer açısından risk değerlendirmesi Çizelge 3.12’de verilmiştir. Sırasıyla;

- Bakım/tutum/tamir işlemleri; güvertede 3,00, makinede 3,05 oranları ile yüksek risk, yaşam mahallinde 2,56 oranı ile orta risk taşıdığı görülmektedir.

En yüksek risk oranı makine dairesinde çıkmıştır. Makine dairesinin dar bir alan olması, makine dairesinde oldukça riskli ekipmanların olması ve çeşitli tehlikeler barındırması risk seviyesini etkilemektedir.

- Acil durum operasyonları; makine dairesinde 3,03 oranı ile yüksek risk, güvertede 2,91, yaşam mahallinde 2,61 oranları ile orta risk taşıdığı görülmektedir.

Değerlendirme sonucuna göre; acil durum operasyonları esnasında, en yüksek risk seviyesi makine dairesinde görülmektedir. Makine dairesi, geminin sevk ve idaresini sağlar. Makine dairesinin en yüksek risk oranına sahip olmasındaki temel sebep, burada gerçekleştirilecek bir acil durum operasyonu geminin diğer bölgelerini de doğrudan etkileyecek olmasından kaynaklanır.

- Ekipman arıza işlemleri; makinede 2,98, güvertede 2,84 ve yaşam mahallinde 2,52 oranları ile orta risk taşıdığı görülmektedir.

Makine dairesindeki ekipmanların karmaşık ve önemli sistemler olması, alanın dar olması ve ekipmanların geminin idaresi için önemli olması sebebi ile en önemli rol oynamaktadır.

- Tamir ve gemi içi operasyonları; makinede 3,35 ve güvertede 3,17 oranları ile yüksek risk, yaşam mahallinde 2,80 oranı ile düşük risk taşıdığı görülmektedir.

Çizelge 3.13 : Gemi türleri için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	Gaz Tankeri	Ham Petrol Tankeri	Kimyasal/ Ürün Tankeri	Konteynır Gemisi	Dökme/ Genel Yük Gemisi	Ro-Ro Gemisi	Yolcu Gemisi
Yük Operasyonları	4,59	3,98	4,21	2,71	2,47	2,47	
Bakım/Tutum/Tamir İşlemleri	4,15	3,85	4,03	2,66	2,50	2,45	2,87
Yakıt Değişim Operasyonları	3,40	3,28	3,38	2,68	2,47	2,61	2,89
Balast Alma/Basma/Değişimi İşl.	3,00	3,00	3,03	2,80	2,56	2,75	3,00
Seyir Esnasında Yapılan İşl.	4,17	3,98	4,07	3,17	2,92	3,01	3,57
Güvertede Yapılan İşlemler	3,89	3,56	3,75	2,77	2,49	2,52	2,96
Acil Durum Operasyonları	3,77	3,64	3,70	2,91	2,70	2,87	3,36
Ekipman Arıza İşlemleri	3,71	3,54	3,73	2,87	2,68	2,80	3,24
Tamir ve Gemi İçi Operasyonlar	4,39	4,15	4,38	3,00	2,80	2,94	3,38
Ana/Yardımcı Makine İşl.	3,54	3,42	3,47	2,71	2,52	2,66	3,15
Diğer İşlemler	2,29	2,14	2,26	1,84	1,70	1,75	2,05

Uzman görüşlerine göre, gemi türleri için risk değerlendirmesi Çizelge 3.13’de verilmiştir. Sırasıyla;

- Gaz tankerleri, ham petrol tankerleri ve kimyasal/ürün tankerleri, yolcu gemileri, konteyner gemileri, dökme/genel kargo gemileri, ro-ro gemileri şeklindedir.

STCW uyarınca; gemi adamları, zorunlu olarak alınması gereken sertifikalara ek olarak, çalışacakları gemi tipini, gemide yapılan yük işlemlerini ve çalışacakları gemide taşınan yük türlerinin varsa tehlike teşkil eden özelliklerini ve alınması gereken emniyet tedbirlerini kapsayan eğitimleri gemiye çıkmadan almaları gerekmektedir (STCW, Kısım B, Bölüm 5).

Tankerler, diğer gemi tiplerine göre daha spesifik ve oldukça tehlikeli operasyonları içermesi sebebi ile risk seviyesi daha yüksektir. Gaz, ham petrol ve kimyasal/ürün tankerlerinde, bu operasyonların birçoğunun gerçekleştirilmesi için ekstra prosedür ve kurallar mevcuttur. Örneğin; bir tanker gemisinde güvertede yapılacak sıcak bir operasyonda (kaynak) birçok sistematik adım takip edilmesi ve özel izinlerin alınması gerekmektedir. Çünkü bu gemi tiplerinde olası bir parlama ya da patlama durumunda çevreye, mülke, yüke ve insana verilen zarar yıkıcı seviyede yaşanmaktadır.

Çizelge 3.13’e göre, yük operasyonlarında, tanker gemilerindeki risklerin daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir. Tankerler arasında gaz tankerlerindeki ve kimyasal tankerlerdeki kargo operasyonlarının daha riskli olacağı değerlendirilmiştir. Tankerlerin limana yanaşma konumu çok önemlidir. Limanlardaki hortumlara göre konumlandığı için yanaşmanın iyi hesaplanması gerekiyor. Yüklerdeki herhangi bir kaçak, yanma ve patlama riski oluşturmaktadır.

Çizelge 3.14 : Gemi boyutu için risk faktörü ortalaması.

Gemi Operasyonları	50-99m gemiler	100-149m gemiler	150-199m gemiler	200m+ gemiler
Yanaşma/Kalkma/Halat/Demirleme Op.	1,89	2,63	3,36	4,07

Uzman görüşlerine göre, gemi boyutunun yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarının gemi boyutları açısından risk değerlendirmesi Çizelge 3.14’e verilmiştir. Sırasıyla;

- Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarında, 150-199m uzunluğuna sahip gemiler 3,36, oranı ile yüksek risk, 200m ve üzerinde uzunluğa sahip gemiler 4,07 oranı ile yüksek kuvvetli risk taşıdığı görölmektedir.

Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonlarında, gemi boyundaki artış, potansiyel riskleri de artırmaktadır. Bu durum, herhangi bir kaza sonrası kayıp ve hasarın da daha büyük olması sonucunu beraberinde getirecektir.

3.5 Dinamik Risk Değerlendirme Teknikleri

Risk, yapılan çalışmalar sonucunda doğal olarak ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan tüm risklerin ortadan kaldırılması mümkün olmayabilir (Vahdani ve diğ, 2015) veya risklerin tamamen ortadan kaldırılabilmesi için çalışmanın sonlandırılması gerekebilir. Çalışmanın sonlandırılmasının mümkün olmadığı ya da istenmediği durumlarda risklerin kabul edilebilir bir seviyede tutulması gerekmektedir (Türedi ve diğ, 2015). Bir sistem ya da işlemdaki güvenilirliği etkileyen belirsizlik belirtilerinin yakalanabilmesi için risk değerlendirmesi yapılmaktadır. Risk değerlendirmesi Suter II tarafından insan faaliyetlerinin veya doğal afetlerin olumsuz etkilerine büyüklük ve olasılık atama süreci olarak tanımlanmaktadır (Suter II ve G.W, 1992).

Günümüzde sistemlerin artan karmaşıklığı nedeniyle, farklı endüstri ve kuruluşlar için risk değerlendirme yöntemlerinin uygulaması giderek artmaktadır. Bir sistem, çok sayıda bileşenden oluşuyorsa ya da bir araya geldiklerinde önceden kestirilemeyen, etkileşime girebilecek birkaç bileşenden oluşuyorsa veya gerçekleştirmesi gereken faaliyet çeşitliliğinden dolayı öngörülemez, dinamik ve içe içe ise sistem, karmaşık kabul edilir (Shafiee ve diğ, 2019). Karmaşık olarak nitelendirilmeyen sistemlerde de bazı bileşenlerin birbirini tetiklemesi ile kritik bir durum ortaya çıkabilir.

Risk değerlendirme yöntemleri, uygulanan alana, incelenecek problemin kısıtlarına, uygulama sonucunda istenilen çıktıya göre çeşitlilik göstermektedir. Ancak karmaşık sistemlerin risk değerlendirmesinde, bu yöntemlerin hiçbirisi tek başına yeterli değildir. Bu yüzden, çalışmalarda artık çözömlenmesi amaçlanan problemin ve yöntemlerin kısıt ve dezavantajlarını ortadan kaldırmak için hibrit yöntemler uygulanmaktadır.

Literatürde, risk değerlendirmesi kapsamında çok sayıda yöntem geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bazı yazarlar, farklı sektörlerdeki risk değerlendirme yöntemlerini ve uygulamalarını, çeşitli bakış açıları ile incelemişlerdir. Örneğin; Drucker (1999), risk

değerlendirme yöntemlerini kalitatif yöntemler, kantitatif yöntemler, makine ve ekipmanın risk değerlendirmesi, simülatif yöntemler, kimyasal sınıflama, kimyasal risk değerlendirmesi, patlayıcı ortam, emniyetli bütünlük derecelendirmesi, insan eksenli risk değerlendirmesi olmak üzere dokuz başlık altında sınıflandırmıştır.

Ayrıca, Tixier ve diğ. (2002), endüstriyel tesisler için geliştirilen risk analizi yöntemlerinin incelenmesi için yayınlanmış 62 makale belirlemişlerdir. Bu makaleleri tehlike tanımlama, risk değerlendirme ve risk hiyerarşisi olmak üzere üç grupta sınıflandırmışlardır. Daha sonra bu makaleler; girdi verileri (plan ve diyagram, süreç ve reaksiyon, ürün, olasılık ve sıklık, politika, çevre, metin ve tarihsel bilgi), yöntemler (nitel, nicel, deterministik, probabilistik) ve çıktı verileri (yönetim, liste, olasılık, hiyerarşi)'ne göre üç alt kategoride gruplandırılmıştır.

Diğer bir çalışma, Marhaviyas ve diğ. (2011), 2000 ve 2009 yılları arasında, literatürde yer alan risk değerlendirme yöntemlerini belirlemişler ve analiz etmişlerdir. Bu kapsamda, risk değerlendirme yöntemlerini kalitatif teknikler, kantitatif teknikler ve yarı kantitatif olmak üzere üç grupta sınıflandırılmıştır. Ayrıca, Necci ve diğ. (2015), kimyasal ve süreç endüstrisindeki domino kazaları ile ilgili son 25 yılda yapılan 60'ı aşkın bilimsel çalışmayı incelemişlerdir. Analiz edilen çalışmalar; geçmiş kaza analizi, ekipman hasarı için emniyet açığı modelleri, domino senaryolarının risk değerlendirmesi ve emniyetli yönetimi açısından ele alınmış ve domino etkisi üzerine eleştirel bir inceleme sunmuşlardır. Villa ve diğ. (2016), dinamik risk değerlendirme yöntemlerinin kimyasal süreç endüstrisindeki uygulamaları hakkında kapsamlı bir inceleme sunmuştur. Bu kapsamda, mevcut risk değerlendirme yöntemlerini kaza ve sonuç modellemesi, süreç tasarımı, emniyet sistemlerinin uygulanması, kontrol sistemleri, varlık bütünlüğü ve bakım planlaması, dış faktörlerin dahil edilmesine göre sınıflandırmıştır. Uygulanan güncel, dinamik risk değerlendirme tekniklerinin geliştirilmesi için yöntemlerin avantajlarını, kısıtlarını ve sunduğu sınıflandırma yaklaşımı ile bu yöntemlerin uygulamalarının nasıl evrildiğini göstermeyi amaçlamıştır.

Son yıllarda yapılan çalışmalardan, Leimeister ve Kolios (2018), açık denizde yenilenebilir enerji uygulanan risk değerlendirmesi için güvenilirliğe dayalı yöntemlerin bir incelemesini ve sınıflandırılmasını sunmuşlardır. Analiz edilen 100'ü aşkın makale kapsamında, bu yöntemlerin açık deniz rüzgar türbini sistemlerine uygulanabilirliğini, fayda ve kısıtlarını irdelemişlerdir. Literatürde, mevcut açık deniz

uygulamalarına dayanarak risk değerlendirme yöntemlerini niteliksel yöntemler (sayfa-tabanlı, tablo-tabanlı, diyagramlı yöntemler), yarı niteliksel yöntemler (tablo-tabanlı ve diyagramlı yöntemler) ve niceliksel yöntemler (analitik, stokastik, gelişmiş nicel yöntemler) olmak üzere kapsamlı bir alt gruplandırılma çalışması yapmışlardır. Animah ve Shafiee (2020), LNG tesisleri ve taşıyıcıları ile ilişkili kaza risklerinin değerlendirilmesinde kullanılan risk analizi yaklaşımlarını incelemiştir. Risk değerlendirme yöntemleri, araçları, ıktıları, veri kaynakları, uygulamalar olmak üzere altı kategoride kapsamlı bir inceleme sunmuştur.

Literatürde, kalitatif, kantitatif ve semi-kantitatif yöntemler kullanılarak yapılan örnek çalışmalar izelge 3.15'te gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında, güvenilir bir risk değerlendirmesi yapılabilmesi için tezin ilk aşamasına FSA yöntemi dahil edilmiştir. Yapılan n anket çalışması ile gemi operasyonları esnasında tespit edilen dinamik risk faktörlerinin, gemi operasyonunu hangi oranda ve nasıl etkilediği belirlenmiştir.

Literatürde, FSA alışmaları ile ilgili bir tehlikenin kök sebebini belirleyemediği ve kök sebebin neden-sonuç ilişkisini karıştırdığı yönünde eleştiriler yapılmıştır (Psaraftis, 2012). Bu nedenle, çalışmada, riski önlemek veya azaltmak ve kontrol edebilmek için proaktif bir uygulama olan Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemi önerilmiştir. Bu kapsamda, belirlenen dinamik değişkenlerin hangi hata türlerini ne ölçüde etkilediği uzman görüşleri alınarak bulanık mantıkla modellenmiş ve beşinci bölümünde irdelenmiştir.

Çizelge 3.15 : Risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması.

Referanslar	Yöntem	Tür		
		Kalitatif	Kantitatif	Semi Kantitatif
Piniella ve Fernández-Engo (2009), Muradi ve Mutmainnah (2020)	Kontrol Listesi	✓		
Sayers ve diğ. (2016)	PRA	✓		
Sultana ve diğ. (2019)	HAZOP, STPA	✓		
Rozenfeld ve diğ. (2010), Patrucco ve diğ. (2010), Zheng ve diğ. (2017)	JSA	✓		
Maulana ve Kurniawan (2020)	HAZID, JSA, Risk Matrisi	✓		
Li ve diğ. (2018)	JSA, PN			✓
Li ve diğ. (2019)	JSA, BN			✓
Pinto ve diğ. (2010)	Fuzzy QRAM			✓
Fera ve Macchiaroli (2010)	FMECA, SceBRA			✓
Ochiai ve diğ. (2005), Cullum ve diğ. (2018)	RBM			✓
Lavasani ve diğ. (2011), John ve diğ. (2014)	ER, FRA			✓
Wang (2002)	Risk Matrisi, FSA			✓
Ventikos ve Psaraftis (2004)	FSA, EDN			✓
Hu ve diğ. (2007)	Fuzzy FSA		✓	
Martins ve diğ. (2014), Wu ve diğ. (2020)	FTA, BN		✓	
Akyuz ve diğ. (2018), Figueirôa ve diğ. (2020), Pandya ve diğ. (2020)	HRA		✓	
Celik ve Cebi (2009), Akyuz (2017)	HFACS		✓	
Wu ve Zheng (2018)	FTA, ETA, CPN		✓	
Badida ve diğ. (2019), Yuhua ve Datao (2005)	Fuzzy FTA		✓	
Ale ve diğ. (2008), Ferdous ve diğ. (2013), Abimbola ve diğ. (2014)	Bow-Tie		✓	
Ronza ve diğ. (2003), Brito ve Almeida (2009)	ETA		✓	
Doytchev ve Szwillus (2009)	Görev Analizi, FTA		✓	
Rudenko ve diğ. (2015)	FTA, DBN		✓	
Yang ve diğ. (2013)	PRA, HBA		✓	
Pasman ve Rogers (2012), Zhao ve diğ. (2015), Yeo ve diğ. (2016)	BBN		✓	
Li ve Tang (2019)	BBN, SRA		✓	
Vinnem ve diğ. (2012)	BBN, FTA, ETA, BORA		✓	
Leoni ve diğ. (2019)	RBM, BN		✓	
Leoni ve diğ. (2020)	RBM, HBA, Markov zinciri		✓	
Shafiee ve Animah (2020)	FMEA, MCDA		✓	
Orouei ve Jahan (2017), Renjith ve diğ. (2018), Baykasoğlu ve Gölcük (2020)	Fuzzy FMEA, Hybrid MADM		✓	



4. DİNAMİK RİSK DEĞERLENDİRME TEKNİĞİ ÖNERİSİ İÇİN YÖNTEMSEL YAKLAŞIM SÜRECİ

4.1 Yöntem Hakkında Genel Bilgiler

FMEA, risk değerlendirmesinin yapıldığı bir ürün geliştirme ve sistem çalıştırma sürecinde tüm iş akışı boyunca tüm potansiyel hata türlerinin tanımlandığı ve bunların sistem performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği proaktif bir yaklaşımdır (Shafiee ve diğ. 2019). FMEA ile bir seviyedeki hata türleri ve bir sonraki alt sistem seviyesi üzerindeki etkisi aşağıdan yukarıya hiyerarşik olarak araştırılmaktadır (Sharma ve diğ. 2005; Modarres, 1993). Hata türü, bir bileşenin, sistemin, alt sistemin veya sürecin faaliyetleri esnasında başarısız olma şekli olarak tanımlanabilir (Zaman ve diğ. 2014).

FMEA, ilk olarak 1949 yılında ABD Silahlı Kuvvetleri Askeri Usulleri belgelerinde FME(C)A olarak yayınlanmıştır (Baig ve Prasanthi, 2012). Daha sonra 1963 yılında Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından Apollo projesinde ilk defa FMEA'nın uygulaması gerçekleştirilmiştir (Jeon ve diğ. 2020). 1974 yılında Birleşik Devletler Donanması tarafından füzeleri geliştirmek için kullanılan FMEA, Birleşik Devletler MIL-STD-1629 standardı olarak kurulmuştur (Jeon ve diğ. 2020). Daha sonra, 1977 yılında ABD'de otomobil üreticisi olan Ford Motor tarafından kabul edilmiş ve uygulanmıştır (Kumar ve diğ. 2011). Daha sonra sağlık (Benjamin (2003); Adachi ve diğ. (2005); Capunzo ve diğ. (2005); Chiozza & Ponzetti (2009); Coles ve diğ. (2010); Apkon ve diğ. (2004); Ford ve diğ. (2009)), hizmet (Chuang (2007), kimyasal (Watanabe ve diğ. (2002); Potter (2011)), üretim (Varzakas ve Arvanitoyannis (2007); Mariajayaprakash ve Senthilvelan (2013)), nükleer (Burgazzi (2004); Tsuru ve diğ. (2008); Tsuru ve diğ. (2009); Cournoyer ve diğ. (2011); Ayodeji ve Liu (2018)), enerji (Nikolić ve diğ. (2011); Feili ve diğ. (2013)), elektronik (Brown ve diğ. (2007); Soman ve diğ. (2009); Fritz ve diğ. (2011)) ve mekanik (Bonnett ve Yung (2008); Yang ve diğ. (2011)) sektörleri dahil olmak üzere çok çeşitli

endüstrilerde sistem risklerinin değerlendirmesi için FMEA, yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Ancak klasik FMEA'daki kısıtlamalar nedeniyle, gelişen dünyanın artan karmaşıklığı ile birlikte, süreci iyileştirmek ve FMEA'nın güçlü yanlarını geliştirmek için son yıllarda hibrid modeller ile kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Kutlu ve Ekmekçioğlu (2012), FMEA'ya dayalı olarak bulanık AHP ile entegre bulanık TOPSIS uygulamıştır. Önerilen yöntem, otomotiv endüstrisinde çalışan bir KOBİ'nin üretim tesisine uygulanmıştır. Üretim tesisinde montaj sürecindeki bir grup uzman tarafından 8 büyük potansiyel hata türü belirlenmiştir. Lin ve diğ. (2014), tıbbi cihazların insan güvenilirliğini analiz etmek için SHELL modeli, tıbbi cihazların insan güvenilirliğinde olası hataları değerlendirerek emniyetini artırmak için FMEA yöntemini önermiştir. FMEA'nın dezavantajlarını ortadan kaldırmak için bulanık dilbilim teorisini uygulamışlardır. Diğer bir çalışmada, Shafiee ve Dinmohammadi (2014), aynı tipteki iki kara ve deniz rüzgar türbini sistemindeki potansiyel hata türlerini tanımlamak için Hata Ağacı Analizi (FTA)'ni kullanmışlardır. FMEA ile ekonomik hususları birleştirerek sistemin nicel karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda, iki yaklaşımdan RPN ve CPN değerleri arasında önemli bir fark olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bir başka çalışma, Sayyadi Tooranloo ve Ayetullah (2016), internet bankacılığı hizmetlerinin kalite değerlendirmesini yapmak üzere, hata türlerinin tespiti için sezgisel bulanık yaklaşıma dayanan FMEA modelini önermişlerdir. Ayrıca, Sayyadi Tooranloo ve Ayetullah (2018) tarafından, bilgi yönetimindeki hata türlerini değerlendirmek için sezgisel bulanık kümeler (IFS'ler) ile entegre TOPSIS yöntemi aracılığıyla yeni bir FMEA yaklaşımını önermişlerdir. Fattahi ve Khalilzadeh (2018), bir fabrikadaki iş kazası risklerini değerlendirmek için, bulanık FMEA ile entegre edilmiş genişletilmiş bulanık AHP ve bulanık MULTIMOORA yöntemlerini önermiştir. Kerman Steel Industries Factory'nde yapılan bir vaka çalışması ile önerilen bulanık hibrit yöntemin uygulanabilirliğini ve faydalarını göstermişler ve kazaları azaltmak için uygun düzeltici faaliyetler önerilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan duyarlılık analizi, önerilen bulanık hibrit yöntem ile tespit edilen iş kazalarının ve etkilerinin %56 azaldığını göstermiştir.

Son zamanlarda, Mete (2019), doğal gaz boru hattı inşaat projesinin beton kaplama işlemindeki riskleri, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından değerlendirmiştir. Risk

değerlendirme süreci için FMEA tabanlı Pisagor bulanık AHP-MOORA yaklaşımını önermiştir. Çalışma kapsamında, 6 uzman ekip tarafından toplam 17 tehlike tespit edilmiştir. Çalışma sonucuna göre, klasik FMEA ile önerilen FMEA tabanlı Pisagor bulanık AHP-MOORA hibrid yaklaşımı arasındaki risk önceliği sıralama sonuçları arasında önemli farklılıklar tespit etmişlerdir. Liu ve diğ. (2019), FMEA'daki hata türlerini değerlendirmek ve sıralamak için bulut modeli teorisi ile hiyerarşik TOPSIS yöntemine dayanan bir entegre risk değerlendirme modeli önermişlerdir. Çalışmanın sonucuna göre, geliştirilen risk önceliği modelinin FMEA'nın belirsizliğini ortadan kaldırmakta etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Sarkar ve Singh (2020), Hindistan'da metro demiryolu için yükseltilmiş bir koridorun inşa projesi için entegre bir Bulanık Beklenen Değer Yöntemi (FEVM) ve Bulanık Hata Türü ve Etki Analizi (FFMEA) modeli önermişlerdir. Çalışma kapsamında, 90 risk uzmanının katılımı ile 24 ana risk faktörü, toplam 255 risk tespit edilmiştir. Önerilen entegre modelin iyi bir risk tespit edilebilirliği ve hafifletme çerçevesi olduğunu ifade etmişlerdir.

FMEA literatüründe, birçok araştırmacı, RPN hesaplamasındaki dezavantajları ortadan kaldırmak ve FMEA'nın performansını artırmak için bulanık mantık uygulamıştır. Örneğin, Kumru ve Kumru (2013), bir devlet hastanesinin satın alma sürecini iyileştirmek için bulanık FMEA modelini önermiştir. Çalışma kapsamında, klasik FMEA ile bulanık FMEA sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Hata etkileri arasında, tedarik süresinin uzatılması ve sözleşmenin iptali en sık ortaya çıkan hatalardır. Yapılan düzeltici ve önleyici eylem önerilerinin uygulanması ile tedarik süresinde yaklaşık %20 ve işgücü tarafından harcanan sürenin yaklaşık %15 oranında azalma beklediklerini ifade etmişlerdir. Silva ve diğ. (2014), bilgi güvenliği risk yönetimi için FMEA ve bulanık teoriyi kapsayan bir yaklaşım önermiştir. Önerilen model, bir üniversite araştırma grubu projesine uygulanmıştır. Bu kapsamda, bilgi ve sistemlere erişim kontrolü, iletişim güvenliği, altyapı (donanım/ağlar), güvenlik yönetimi ve bilgi sistemleri geliştirme güvenliği olmak üzere beş boyutta analiz yapılmış ve çalışma sonucunda risk önceliği oluşturulmuştur. Mandal ve Maiti (2014), FMEA'nın dezavantajlarının üstesinden gelmek için bulanık sayıların benzerlik ölçüsünü çalışmalarına entegre etmişlerdir. Dağsuyu ve diğ. (2016), sterilizasyon ünitelerindeki risk faktörlerini incelemek için klasik ve bulanık FMEA uygulamasını karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında, enfeksiyon riskleri, gürültü riski, tehlikeli maddeler veya kanserojen ve mutajenik maddeler ile ilgili riskler, alerji riskleri,

ergonomik riskler, iletişim riskleri, şiddet riskleri, elektrik çarpması ve steril bir işyeri ile ilgili riskler olmak üzere 10 risk sınıfını incelemişlerdir. Bu risk sınıfları içerisinde 26 ünite tehlikesi belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, en yüksek önceliğe sahip iki risk sınıfı dışındakilerde değişiklik olduğunu ifade etmişlerdir. Yazdi ve diğ. (2017), uçak iniş sistemlerindeki hataları değerlendirmek için klasik FMEA ile bulanık FMEA'nın karşılaştırmalı incelemesini yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, klasik FMEA'da düzeltici eylemlere ihtiyaç duyan hata türü sayısı iki iken, FDFMEA'da beş hata türü olduğunu tespit etmişlerdir.

Denizcilik endüstrisinde de çok sayıda FMEA çalışması vardır. Örneğin; Jae-Ohk ve diğ. (2001), bir dökme yük gemisinin yan haddeleme tipi ambar ağız sistemi için Performans-Emniyet Analiz Modeli (PSAM)'ni önermişlerdir. Bunun için müşteri gereksinime dayalı kalite değerlendirmesi için Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) ve Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi (DFMEA) yöntemlerini kullanmışlardır. Bir başka çalışmada, Sayareh ve Ahouei (2013), kuru dökme yük terminallerinde, yük elleçleme operasyonlarındaki gecikmeleri azaltmak ve yükleme/boşaltma faaliyetlerini düzeltmek için FMEA'ya dayalı Neden ve Etki Diyagramını kullanmışlardır. Çalışmanın kapsamında, yük elleçleme operasyonlarında gecikmelere neden olan dört temel faktör; müşteriler ve kargo sahipleri, liman ve işletmecileri incelenmiştir. Diğer bir çalışmada, Zaman ve diğ. (2014) gemi çarpışmaları için tehlike tanımlama ve risk değerlendirme yöntemi olarak, AIS verilerine ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'ne dayalı bir bulanık FMEA kullanmıştır. Çalışma sonucuna göre, risk sıralaması, insan hatası, geçiş durumu, kafa üstü durumu, gemiler arasındaki kısa mesafe, kendi gemisinin ve hedef geminin hızları, yüksek trafik yoğunluğu, yetişen gemi, navigasyon hatası, kötü hava koşulları ve makine veya elektrik sistemi arızası olmuştur. Bir başka çalışmada, Helvacıoğlu ve Ozen (2014), yat tasarımında yangın, yakıt ve sintine sistemlerindeki kritik hataları bulmak için bulanık TOPSIS yöntemini FMEA metoduna entegre etmişlerdir. Benzer şekilde, Akyuz ve diğ. (2016), MoU CIC veritabanına dayanarak gemilerin yangın emniyet sistemindeki eksikliklerini değerlendirmek için bulanık mantık teorisini FMEA tekniğine entegre etmiştir. Çalışma sonucuna göre, sırasıyla, yangınla mücadelede gecikmiş yanıt verilmesi, valflere monte edilen gevşek conta, düzgün bir şekilde çıkarılmamış kilitleme pimleri, en yüksek RPN'ye sahip hatalardır. Ayrıca, Ahn ve diğ. (2017), yakıt hücresi temelli hibrit gemilerin güç sisteminin emniyetini ve güvenilirliğini değerlendirmek için

bulanık tabanlı bir FMEA kullanmışlardır. Hibrit sistem için belirlenen 35 bileşene ait 70 potansiyel hata türü incelemişlerdir. Klasik FMEA ile bulanık FMEA'nın karşılaştırılması sonucunda farklı RPN'lere sahip hata türleri tespit edilmiştir.

Son zamanlarda, Shafiee ve diğ. (2019) denizaltı Patlama Önleyici (BOP - Blowout Preventer) sistemlerinin güvenilirliğini analiz etmek için minimum kesim setleri teorisine ve Birnbaum'un önem ölçüsüne dayanan entegre bir FTA ve FMEA modeli önermişlerdir. Çalışma sonucunda, klasik FMEA ile hibrit yaklaşımın sonuçları karşılaştırıldığında, kinistin valflerin ve hidrolik devrelerin neden olduğu hatalar BOP sistemindeki en büyük riskler olduğu tespit edilmiş ancak diğer bileşenlerin risk sıralamasında da önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Efe (2019), gemi yapımında oluşabilecek risklerin değerlendirilmesi için QFD (kalite fonksiyon yayılımı) ve VIKOR yaklaşımını sezgisel bulanık kümelerle entegre eden FMEA yaklaşımını önermiştir. Çalışma kapsamında, iş kazaları ile ilgili hata türlerini önceliklendirmişlerdir. Gemi yapımındaki en önemli dört hata türü, sırasıyla, gemi iskelesinde ağ eksikliği, uygun olmayan merdivenlerin kullanılması, boş yangın söndürücüler ve emniyet kemeri olmadan yüksekte çalışma olduğu belirlenmiştir. Diğer bir çalışma, Jeon ve Kim (2020), yakıt hücresi tabanlı hibrit gemilerin güç sistemlerinin emniyetini ve güvenilirliğini FMEA yöntemi ile değerlendirmeyi önermiştir. Değerlendirme kriterlerinin güvenilirliğini belirlemek için SPSS üzerinden Kendall'in rastlantı katsayısı kullanılarak doğrulamışlardır. Çalışma sonucunda, yapılan değerlendirmenin daha güvenilir sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Bugüne kadar, hiçbir çalışma bulanık FMEA yöntemini gemi yanaşma, kalkma ve liman operasyonlarındaki dinamik risklerin değerlendirilmesi için karar verme optimizasyon aracı olarak incelememiştir. Literatürde ilk kez, bu araştırma gemi yanaşma, kalkma ve liman operasyonlarında dinamik risklerin değerlendirilmesi için yeni bir karar alma çerçevesi sunmaktadır.

4.2 Yöntemsel Çerçeve

FMEA sürecini üç değişken oluşturmaktadır. Bunlar; bir hata türünün ortaya çıkma olasılığı (O), hata türünün şiddeti (S) ve hata türünün meydana gelmeden önce saptanabilirliği (D). 'O' ve 'S' girdi değişkenleri için 1-5 risk değerlendirme derecelendirmesi, 'D' girdi değişkeni için 1-10 risk değerlendirme derecelendirmesi kullanılır. Değerlendirmede 'O' ve 'S' değişkenleri için '1' en iyi duruma ve '10' en kötü

duruma, 'D' girdi değişkeni için ise '1' en kötü duruma ve '10' en iyi duruma karşılık gelir. Bu üç girdi değişkeni ile çıktı değişkeni olan risk öncelik sayısı (RPN) hesaplanır.

Yapılan değerlendirme sonrasında elde edilen RPN değerleri, en büyük değerden en küçük değere doğru sıralanır. Risklerin önceliklendirilmesi kaynak yönetimi açısından oldukça önemlidir. FMEA yöntemi, minimum kaynak kullanımı ile önceliklendirilen hata türlerini ortadan kaldırmayı ya da etkisini azaltmayı amaçlamaktadır (Fattahi ve Khalilzadeh, 2018). FMEA yöntemi ile sıralanan riskler için düzenleyici ve önleyici eylem ve kontrol planı oluşturulur (Ciani ve diğ. 2019) ve kritikliği göz önünde bulundurularak gerekli müdahaleler gerçekleştirilir (Jeon ve diğ. 2020).

Bir hata türü, diğer hata türlerinin meydana gelmesini tetikleyebilir (Efe, 2019). Bu durumda, bir sistem, işlem, ürün, tasarım veya hizmet üzerinde, birden fazla hata nedeni ve etkisi olabilir. Bu yüzden, daha riskli hata türlerinin öncelikli olarak düzeltilebilmesi için her hata türü nedeninin ve etkisinin değerlendirilmesi önemlidir (Zaman ve diğ. 2014). FMEA'nın başarısında analistlerin, tasarımcıların ve paydaşların rolü çok önemlidir (Helvacioğlu ve Ozen, 2014).

Kritik bir hatanın kontrolü, sistemin genel emniyetini artırabilir (Wan ve diğ. 2019). FMEA uygulaması ile bir sistemin iş süreci doğrulanarak ve bu iş sürecinin mevcut prosedürleri takip edilerek daha etkin performans göstermesi sağlanabilir (Kim ve diğ. 2019).

4.3 Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)

Klasik FMEA tekniğinde her hata türü için RPN değeri; şiddet (bir hatanın önem derecesi), oluşum (bir hatanın meydana gelme olasılığı) ve hata türünün saptanabilirliği (bir hatanın etkileri gerçekleşmeden tespit edilme zorluğu) olmak üzere üç parametre ile değerlendirilir. Bu parametrelerin değerleri, alan uzmanlarının geçmiş deneyimleri ile belirlenir. Değerlendirmelerde, her parametre için belirlenen derecelendirme ölçeği (çok düşük, düşük, orta yüksek, çok yüksek gibi) kullanılır.

Belirlenen hata türleri için O, S ve D parametrelerinin matematiksel çarpımı ile Risk Öncelik Sayısı (RPN) olarak adlandırılan değer elde edilir. RPN matematiksel olarak denklem (4.1) ile temsil edilmektedir. Elde edilen RPN değerlerine göre riskler önceliklendirilir. Daha yüksek RPN değeri öncelikli olarak müdahale edilmesi gereken

riski işaret eder çünkü artan RPN değeri sistemin riskini artırır. Daha yüksek RPN değeri, sistem için daha kritik bir öneme sahiptir.

$$RPN = O * S * D \quad (4.1)$$

Her bir hata türü için uygun düzenleyici ve önleyici eylemler ve sorumluları belirlenir. Düzenleyici ve önleyici faaliyetler belirlendikten sonra, daha yüksek RPN değerine sahip hata türüne karşılık gelen faaliyet, daha yüksek risk nedeniyle daha önce uygulanır.

Çizelge 4.1 : Meydana gelme değerlendirme elemanının olasılığı ve derecesi.

Derece	Hatanın meydana gelme sıklığı	Hata olasılığı	Dilsel ifade	Karşılık gelen bulanık sayı
1	Küçük: hata olasılığı düşük	<1 in 1,500,000	Çok düşük	(0, 0, 0.1, 0.2)
2		1 in 150,000		
3	Düşük: nispeten az meydana gelen hatalar	1 in 15,000	Düşük	(0.1, 0.3, 0.5)
4		1 in 2000		
5		1 in 400		
6	Orta: nadir meydana gelen hatalar	1 in 80	Orta	(0.3, 0.5, 0.7)
7		1 in 20		
8	Yüksek: tekrarlanan hatalar	1 in 8	Yüksek	(0.6, 0.75, 0.9)
9		1 in 3		
10	Çok yüksek: neredeyse kaçınılmaz hata	>1 in 2	Çok yüksek	(0.8, 0.9, 1, 1)

Meydana gelme değişkeni, hatanın gerçekleşme sıklığıdır. Meydana gelme değişkeninin değerlendirilmesi için 1-10 arası bir derecelendirme ölçeği kullanılmaktadır. Değerlendirme ölçek değeri yükseldikçe, meydana gelme olasılığı artar, yani 1 değeri daha iyi temsil etmektedir. Meydana gelme değişkenine ait dilsel değişkenlerin matematiksel anlamları Çizelge 4.1’te belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Şiddet değerlendirme elemanının derecesi.

Derece	Şiddet	Şiddetin etkisi	Dilsel ifade	Karşılık gelen bulanık sayı
1	Küçük	Etki yok	Çok düşük	(0.8, 0.9, 1, 1)
2	Çok düşük	Sistemin çalışmasında karışıklığa yol açan hata türü	Düşük	(0.6, 0.75, 0.9)
3	Düşük	Sistem performansında düşme ve hafif yaralanma vb. etkiye sahip hata türü		
4, 5, 6	Orta	Sistem/ bileşen nedeniyle işlev kaybına sebep olan hata türü	Orta	(0.3, 0.5, 0.7)
7, 8	Yüksek	Ekipman hasarına, işlemin tamamlanamamasına sebep olan ve ağır yaralanma, ölüm vb. etkiye sahip hata türü	Yüksek	(0.6, 0.75, 0.9)
9, 10	Çok yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesine sebep olan ve ağır yaralanmalara, ölüm vb. etkiye sahip hata türü	Çok yüksek	(0.8, 0.9, 1, 1)

Şiddet değeri, potansiyel hatanın diğer bileşene, alt sisteme ya da sisteme olan etkisidir (Tay ve Lim, 2006). Şiddet değişkeninin değerlendirilmesi için 1-10 arası bir derecelendirme ölçeği kullanılmaktadır. Değerlendirme ölçek değeri yükseldikçe, şiddet artar, yani 1 değeri daha iyi temsil etmektedir. Şiddet değişkenine ait dilsel değişkenlerin matematiksel anlamları Çizelge 4.2’te belirlenmiştir.

Table 4.3 : Saptanabilirlik değerlendirme elementinin olasılığı ve derecesi.

Derece	Saptanabilirlik	Saptanabilirlik olasılığı	Dilsel ifade	Karşılık gelen bulanık sayı
1, 2	Çok yüksek	Yapılan kontroller sonrası potansiyel bir hatanın nedeni ve takip eden hata türünün saptanabilirliği neredeyse kesin	Çok yüksek	(0, 0, 0.1)
3, 4	Yüksek	Yapılan kontroller sonrası potansiyel bir hatanın nedeni ve takip eden hata türünün saptanabilirliği yüksek	Yüksek	(0.1, 0.3, 0.5)
5, 6	Orta	Yapılan kontroller sonrası potansiyel bir hatanın nedeni ve takip eden hata türünün saptanabilirliği orta	Orta	(0.3, 0.5, 0.7)
7, 8	Düşük	Yapılan kontroller sonrası potansiyel bir hatanın nedeni ve takip eden hata türünün saptanabilirliği çok düşük	Düşük	(0.5, 0.7, 0.9)
9	Çok düşük	Yapılan kontroller sonrası potansiyel bir hatanın nedeni ve takip eden hata türünün saptanabilirliği olası değil	Çok düşük	(0, 0.1, 0.2)
10	Tespit edilemez	Yapılan kontroller sonrası ya da herhangi bir kullanıcı potansiyel bir hatanın nedeni ve takip eden hata türünün saptanabilirliği mümkün değil	Yok	(0.8, 0.9, 1)

Saptanabilirlik değeri, uygulanan kontrol işlemlerine bağlıdır. Kontrol önlemleri ne kadar etkili ve uygunsa saptanabilirlik o kadar iyidir. Saptanabilirlik değişkenini değerlendirmek için 1-10 arası bir derecelendirme ölçeği kullanılmaktadır. Elde edilecek RPN değerleri 1-10*10*10 aralığında olacaktır. Değerlendirme ölçek değeri yükseldikçe, saptanabilirlik yükselir, yani 1 değeri daha kötüyü temsil eder. Saptanabilirlik değişkenine ait dilsel değişkenlerin matematiksel anlamları Çizelge 4.3’te belirlenmiştir.

Sistemin emniyetini artırmak için RPN değerlerine göre risk önceliği oluşturulur ve uygun erken düzenleyici ve önleyici faaliyetler alınır. Ancak, çarpımsal toplama ile elde edilen risk puanlama, literatürde birçok yazar tarafından eleştirilmiştir (Kumru ve Kumru, (2013), Liu ve diğ, (2011), Helvacioğlu ve Ozen (2014), Kim, ve diğ, (2019), Shafiee ve Dinmohammadi (2014), Chang ve Cheng (2010), Jeon ve diğ, (2020), Akyuz ve diğ, (2016), Gargama ve Chaturvedi (2011), Kutlu ve Ekmekçioğlu (2012)).

Bu dezavantajlar RPN'yi doğrudan etkilemektedir. Literatürde yer alan problemler, aşağıda özetlenmektedir.

- i. O, S ve D parametrelerinin aynı öneme sahip olduğu varsayılmaktadır. Ancak, hata türüne göre risk parametreleri farklı ağırlıklara sahip olabilir. Bu durumda, yöntemin gerçek hayata uygulanmasında hatalar ortaya çıkabilir.
- ii. Risk parametrelerinin farklı kombinasyonları aynı RPN değerini üretebilir. Ancak aynı RPN değerine sahip hata türleri sistem üzerinde farklı sonuçlar oluşturabilir. Bu durum kaynak ve zaman kaybına ve yüksek riskli hatalara zamanında öncelik verilememesine yol açabilir. Örneğin; çok şiddetli etkileri olan (3, 6, 6) risk parametre değerlerine sahip bir hata türü ile düşük şiddette ancak orta meydana gelme ve düşük tespit edilebilirlik (9, 4, 3) risk parametre değerlerine sahip iki farklı hata türü aynı RPN değerine sahip olabilir.
- iii. Uzmanların nispi önemi değerlendirmeye dahil edilmemektedir.
- iv. Her hata türü için risk parametreleri ayrı ayrı değerlendirilmektedir. O, S ve D parametrelerinin birbirleri üzerindeki olası dolaylı veya doğrudan ilişkilerinin etkisi dikkate alınmamaktadır.
- v. RPN değerleri, risk parametrelerindeki değişikliklere karşı oldukça duyarlıdır. Bu yüzden, risk parametrelerini değerlendiren kişilerin sistem hakkında yeterince deneyimli ve bilgili olması önemlidir. Örneğin; O ve S'nin değerleri 6 ise, D'nin değerindeki 1 puanlık değişiklik RPN değerinde 36 puanlık fark oluşturacaktır.
- vi. Uzmanların risk parametreleri için açık ve kesin derecelendirmelerini elde etmek çoğunlukla zordur. Bu yüzden, daha fazla bilgi iletmek için dilsel terimler ile ifade edilebilir.
- vii. RPN değerleri 1'den (1*1*1) 1000 (10*10*10)'e kadar sürekli değildir. Olası O, S ve D kombinasyonlarının %90'ı, 405'ten daha az RPN değeri ile sonuçlanır. O, S ve D değeri kombinasyonları için sadece 120 benzersiz RPN değeri vardır. Üç risk parametresinin çarpımı ile 161 RPN değeri (11, 13, 17, ..., 151-199) elde edilemez.

- viii. O, S, D değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilecek uygun sayısal ölçeğin ('0 ile 1', '1 ile 10', '-10 ile 10' arası) hangisi olduğu bilinmemektedir. Rastgele sayısal ölçek kullanılması, faktörler birleştirildiğinde ve ortaya çıkan sayısal cevap anlaşılamadığında sorun artar.

Yukarıda belirtilen eksiklikleri ortadan kaldırmak amacı ile bu tez çalışmasında, bulanık küme tabanlı FMEA yaklaşımı önerilmiştir.

4.4 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Kavramı

Bulanık küme teorisi, nesne sınıflarının gerçek dünyadaki belirsizliğini kesin olarak betimleyen bir üyelik kriterine sahip olmadığı durumlardan yola çıkılarak geliştirilmiştir (Zadeh, 1965). Bulanık küme teorisi tanıtıldıktan sonra doğa, insan ve endüstri gibi çeşitli alanlarda belirsiz ve hatalı bilgi içeren sistemleri modellemek için kullanılmıştır. Daha sonra, birçok araştırmacı tarafından bulanık kümeler; sınıflandırma ve veri analizi, belirsizlik altında akıl yürütme ve karar verme problemlerinde kullanılmaktadır (Dubois ve Prade, 1980). Belirsizlik, eksik veya çelişkili bilgiyi yansıtır (Dubois ve Prade, 1980).

İnsan bilgisinin ve algısının sınırlı olması nedeniyle, mevcut verilerden tam ve kesin veriler elde etmek neredeyse imkansızdır ve güvenilir sonuçlar elde etmek zaman alıcıdır (Liu ve Lin, 2010). Matematiksel terimleri manipüle ederek hatalı bilgileri yönetebilmesi açısından, bulanık küme teorisi, bilim ve mühendisliğin en temel kavramlarından biridir (Pedrycz ve diğ, 2011).

Klasik küme teorisinde, önermeler sadece 0 veya 1 doğruluk değerini alabilmektedir. Klasik küme teorisinde; x elemanı, A kümesine ait ise üyelik derecesi 1, ait değilse üyelik derecesi 0'dır. Yani, bir eleman ya tamamen bir kümeye aittir ya da ait değildir. Klasik bir A kümesinin üyelik derecesini matematiksel olarak (4.1) ve (4.2)'de gösterildiği gibi tanımlayabiliriz. X , boş bir küme olsun. X 'deki klasik bir küme A , üyelik fonksiyonu $x_A: X \rightarrow \{0, 1\}$ ile ifade edilir ve her $x \in X$ için klasik küme A 'daki x elemanının üyelik derecesi olarak yorumlanır.

$$x_A: X \rightarrow \{0, 1\} \quad (4.1)$$

$$\forall x \in X, x_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (4.2)$$

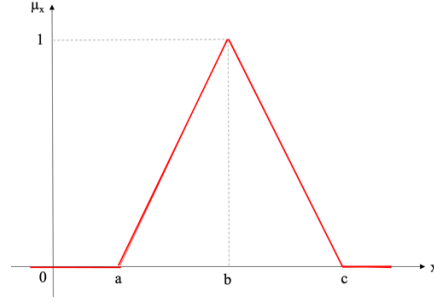
Bulanık küme teorisinde ise önermeler $[0, 1]$ aralığında bulunan bir üyelik derecesine sahiptir. Bulanık bir kümenin üyelik değerleri süreklidir. Yani, üyelik işlevi için 0 ile 1 arasında değişen bir değer atanabilir (Zadeh, 1965). Bulanık küme kavramını matematiksel olarak 4.3'te gösterildiği gibi tanımlayabiliriz. X , boş bir küme olsun. X 'deki bulanık bir küme A , üyelik fonksiyonu $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ veya $\mu_A(x)$ ile ifade edilir ve her $x \in X$ için bulanık küme A 'daki x elemanının üyelik derecesi olarak yorumlanır. $\mu_A(x)$ yerine sıklıkla $A(x)$ kullanılır.

$$A: X \rightarrow [0, 1] \quad (4.3)$$

Yaklaşık muhakemeye imkan sağlayan bulanık mantık, insan muhakemesi için geleneksel iki değerli mantığa göre daha gerçekçi bir çerçeve sunmaktadır (Kumru ve Kumru, 2013).

Üyelik işlevleri, bulanıklaştırma ve durulaştırma aşamalarında bulanık olmayan girdi değerlerinin bulanık dilsel terimler ile eşleştirmesi için kullanılmaktadır (Kumru ve Kumru, 2013). Dilsel değişkenler, sayısal değerler yerine kullanılan doğal bir dilde kelimeler veya cümleler olan sistemin girdi veya çıktı değişkenleridir. Literatürde, üyelik fonksiyonları, fonksiyon biçimleri veya geometrik şekil benzerlikleri ile ele alınmaktadır. Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonları; üçgen, yamuk, gauss dağılım fonksiyonu, cauchy, s/z şeklindeki sigmoid eğrileri, laplas, sinc, lojik, hiperbolik tanjant, tek darbe üyelik işlevleri vb. ile sınıflandırılır (Kubat, 2013). En çok kullanılan üyelik fonksiyonları, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarıdır (Wang ve diğ. 2009). Bu tez çalışmasında, üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının parametreleri ve denklemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Üçgen bulanık fonksiyonları üç değişkenle tanımlanmaktadır. $A = (a, b, c)$ bulanık kümesinde, tepe noktası b , sol genişlik $a > 0$ ve sağ genişlik $c > 0$ ise üçgen bulanık sayı olarak adlandırılmaktadır. “A” bulanık kümesi için tanımlanan üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

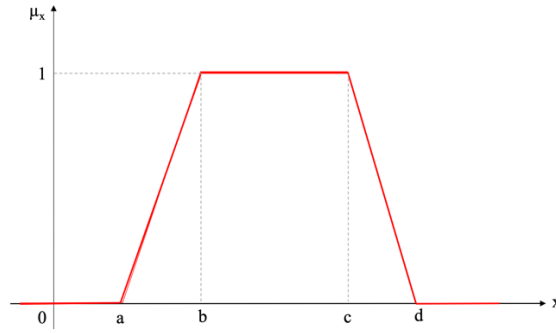


Şekil 4.1 : Üçgen bulanık sayılar.

Merkezi b olan bir üçgen bulanık sayı, “x, yaklaşık olarak a’ya eşittir.” bulanık miktarı olarak görülebilir. Üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonları (4.4)’deki formül ile hesaplanmaktadır;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c}, & c \leq x \leq d, \quad a < b < c \text{ iken} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4.4)$$

Yamuk bulanık fonksiyonları ise dört değişkenle tanımlanmaktadır. A= (a, b, c, d) bulanık kümesi için tanımlanan yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Yamuk bulanık sayılar.

Yamuk bulanık sayılar için üyelik fonksiyonları (4.5)’teki formülle hesaplanmaktadır.

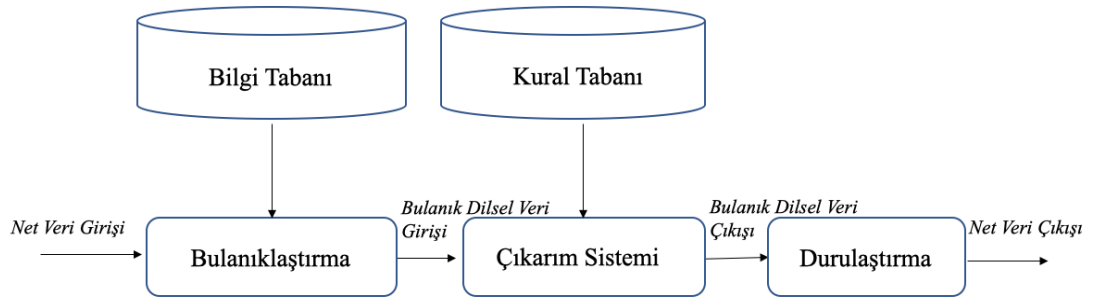
$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}, \quad a < b < c < d \text{ iken} \quad (4.5)$$

4.5 FMEA için Kural Tabanlı Uzman Sistemler

Literatürde, bulanık FMEA yaklaşımları, bulanık kümeleme operatörü yaklaşımı ve kural temelli uzman sistem yaklaşımı olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır (Wang ve diğ. 2009). Bulanık kümeleme operatörleri, çarpımsal kümeleme kullanan risk puanlama yöntemleri ile aynı dezavantajlara sahiptir (Akyuz ve diğ. 2016).

Bulanık kural tabanlı bir sistem, insan bilgisini temsil etmenin ve insan akıl yürütmesini sistematik bir şekilde modellemenin en yaygın yoludur (Wan ve diğ. 2019). Bulanık kural tabanlı bir sistemin avantajları arasında bir insan uzmanın karar verme yeteneğini taklit ederek bilgiyi faydalı bir şekilde yorumlamak için bilgiyi depolama (Ross, 1995) ve insan uzmanlardan daha tutarlı bir sistem geliştirme ve daha hızlı çözümler geliştirme (Abraham, 2005) yeteneği bulunmaktadır. Ross (2009)'a göre, bu tür bir sistem, EĞER-İSE kuralları ile kendi iletişim dilimizi yansıtan yaklaşık ve dilsel bir tanım kullanarak insan deneysel ve buluşsal bilgisini temsil eder (Wan ve diğ. 2019).

Bir Mamdani modeli, Şekil 4.3'de gösterildiği gibi kural tabanının oluşturulması, bilgilerin dönüştürülmesi, kuralların değerlendirilmesi, kural çıktılarının biraraya getirilmesi ve durulaştırma işlemi olmak üzere beş adımdan oluşmaktadır (Sivanandam, Sumathi ve Deepa 2007).



Şekil 4.3 : Bulanık kural tabanı yapısı.

Mamdani ve Assilian (1975), bulanık teori uygulamalarında doğrusal olmayan dinamik bir sistemin kontrolünde bir kural tabanı ile birleştiğinde en iyi uygulama olduğunu ifade etmiştir (Kumru ve Kumru, 2013). Kesin RPN'de karşılaşılan problemler ile bulanık eğer-ise kuralı kullanılarak başa çıkılabilmektedir (Wang ve diğ. 2009). Bunun yanı sıra bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, herhangi bir çıkarım sürecinin başlatılmasından önce tüm kural tabanını oluşturmanın

maliyeti ve süresidir. Bu problemle başa çıkabilmek için bulanık RPN'nin hesaplanmasında bulanık sayıları kullanarak sayısal modların kullanılması önerilmiştir (Mandal ve Maiti, 2014). Bu nedenle, bu tez çalışmasında, RPN'nin değerlendirilmesi için meydana gelme (O), şiddet (S) ve saptanabilirlik (D) risk faktörlerinin toplanmasında kural tabanlı uzman sistem yaklaşımı kullanılmıştır.

4.5.1 Kural tabanı mekanizması

Bir kural tabanlı sistemin başlangıç noktası, alan uzmanlarından eğer-ise bilgilerinin toplanması ile oluşturulmaktadır. Kural tabanı; sistemin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Bu kurallar, çıktı değişkeninin kontrol edilmesi için oluşturulur (Babuška, 1996). Örneğin; FMEA için tipik bir kural yapısı “Eğer o , O_i ise RPN, R_i 'dir.” şeklinde sağlanmaktadır. Burada, girdi değişkeni olan o , bir kuralın öncül kısmını, girdi değişkenine bağlı oluşan çıktı değişkeni RPN ise soncul kısmını oluşturmaktadır.

Kurallar, birden fazla öncül ve tek soncul veya birden fazla öncül ve birden fazla soncul şeklinde de oluşturulabilmektedir. Örneğin; “ $R_i : EĞER o, O_i$ ve s, S_i ve d, D_i O HALDE RPN, $R_i i= 1, 2, ..., K$ 'dir.” şeklinde bağlanmaktadır. “Eğer meydana gelme yüksek ise şiddet orta ise saptanabilirlik düşük ise risk ortadır.” kuralı, birden fazla öncül ve tek soncula örnek olarak verilebilir.

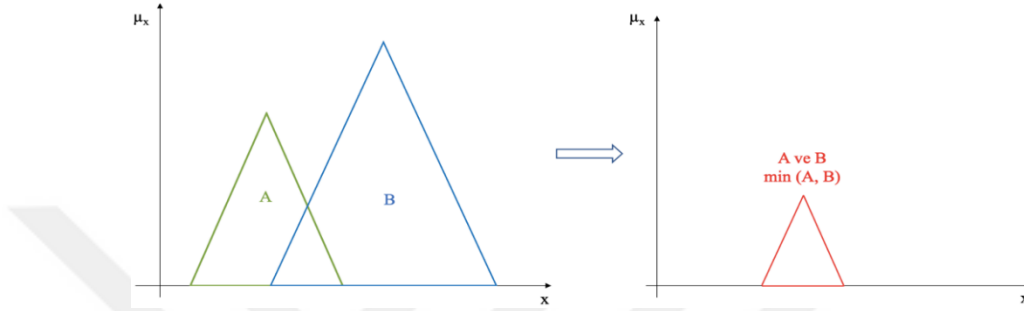
4.5.2 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma işlemi, kullanıcının bilgi, deneyim ve gözlemlenen net girdi verilerinin dilbilimsel ifadelere dönüştürülmesidir. Diğer bir deyişle, bulanıklaştırma işlemi ile net girdilerin ait oldukları bulanık kümedeki üyelik dereceleri belirlenir. Bu aşamada, o , s ve d net girdi değerlerine ait bulanık kümeler ($\mu(O_i)$ $\mu(S_i)$ $\mu(D_i)$) belirlenir.

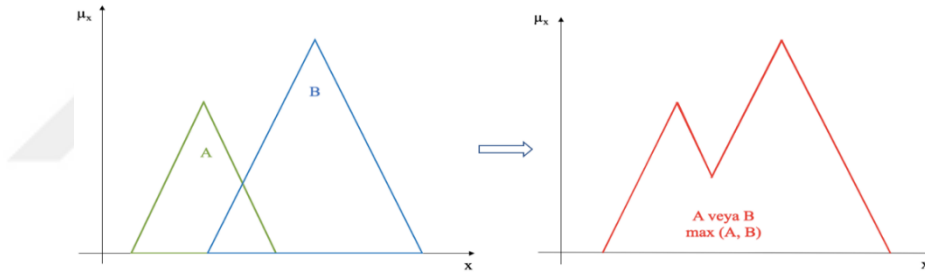
4.5.3 Çıkarım motoru

Bulanık çıkarım işlemi, uzman bilgilerinden elde edilen eğer-ise kuralları ile gerçekleştirilir. Eğer-ise kuralları, sistemin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi belirler. Bulanık eğer-ise kuralları, sistemin net girdi değişkenlerini bulanıklaştırarak kontrol sisteminin bir parçası haline getirmektedir. Bulanık kural tabanı kullanılarak bulanık girdi değerleri, bulanık çıktı kümelerine dönüştürülür. Her kuralın sonuçları belirlenen algoritmaya göre birleştirilir.

Girdi ile kural tabanının etkileşimini temel alan çıkarım motoru her kuralın sonucunu değerlendirir (Babuška, 1996). Bulanık kurallar, VE (AND) ve VEYA (OR) mantık bağlaçları kullanılarak birleştirilebilir. Bulanık kuralların VE bağlacı ile bağlanması halinde üyelik fonksiyonlarının küçük değeri (Şekil 4.5), VEYA bağlacı ile bağlanması halinde ise üyelik fonksiyonlarının büyük değeri (Şekil 4.6) alınmaktadır (Öztemel, 2006). Bulanık önermenin değişkenleri için belirlenen kurallara göre, çözüm alanı belirlenmektedir.



Şekil 4.4 : Bulanık A ve B kümesinin kesişimi.



Şekil 4.5 : Bulanık A ve B kümesinin birleşimi.

Burada, her kuralın birden fazla öncülü olduğu için VE ($\wedge$) işlemi uygulanır. Her bir i. kuralı için öncülün aktivasyon ağırlığı (α_i), (4.6)'da gösterildiği gibi birleştirilerek nihai sonuç elde edilir.

$$\alpha_i = \mu_{O_i}(o) \wedge \mu_{S_i}(s) \wedge \mu_{D_i}(d) \quad 1 \leq i \leq K \quad (4.6)$$

Burada, α_i , i. kuralın ağırlıklandırılma ve etkinleştirilme derecesini ölçen k kuralının aktivasyon ağırlığını ifade etmektedir. Girdi, her kuralın etkinleştirilme ağırlıklarına bağlı olarak farklı kuralları etkinleştirir (Akyuz, 2016). Tüm R_i ($1, \dots, K$) kuralları için α_i aktivasyon ağırlıkları (4.7)'deki formül kullanılarak oluşturulur. Daha sonra, her kural için çıktı bulanık kümesi (μ_{R_i}), minimum t-normu kullanılarak türetilir (Sivanandam ve diğ, 2007).

$$\mu_{R_i'}(RPN) = \alpha_i \wedge \mu_{R_i}(RPN_j) \quad (4.7)$$

4.5.4 Bulanık sayılarda sıralama

Bulanık çıkarım sonucunda, her bir kural için bulanık küme elde edilir. Daha sonra, elde edilen bu bulanık kümeler toplanır ve her çıktı değişkeni için yeni bir bulanık küme elde edilir. Her bir kuralın sonucu; max (maksimum), prob (olasılıksal) ve sum (her bir kural çıktısının toplamı) gibi farklı şekillerde birleştirilebilir.

Literatürde, sonucun biçimine bağlı olarak, bulanık çıkarım sistemleri için Takagi Sugeno Kang, Mamdani ve Tsukamoto gibi çeşitli yöntemler önerilmektedir (Akman, 2015). Sugeno modelinde, öncül bulanık bir önermedir; sonuç, net bir işlemdir. Mamdani modelinde ise hem öncül hem de sonuç olarak bulanık önermeler vardır (Kumru ve Kumru, 2013). Mamdani modeli, uzman bilgisini yakalamak için yaygın olarak kabul edilmektedir. Mamdani modeli, uzmanlığın daha sezgisel, daha insan benzeri bir şekilde tanımlanmasını sağlar (Akyuz, 2016). En yaygın kullanılan bulanık çıkarım yöntemi Mamdani yöntemidir. Bu tez çalışmasında, Mamdani min/max çıkarım mekanizması (giriş yöntemi: min, toplama yöntemi: max) kullanılmıştır. Bu yöntem, çarpımsal toplamaların kullanımındaki sorunların ortadan kaldırılması amacıyla benimsenmiştir. Max (birleşim) alınarak çıktı bulanık kümelerinin toplanması için (4.8)'de verilen formül kullanılmaktadır.

$$\mu_{Ri'}(RPN) = \max_{i=1,2,...,K} (\mu_{Ri}(RPN)) \quad (4.8)$$

4.5.5 Durulaştırma

Risklerin değerlendirilmesi için belirlenen senaryoya ait RPN değerlerinin önceliklendirilmesi gerekir. Ancak bulanık kurala dayalı uzman sistemlerde, çıkarım adımından sonra, genel sonuç bulanık bir değerdir. Bulanık çıkarım sürecinden elde edilen bulanık bilginin kesin ve net bir değer olması istenmektedir. Bu amaç için çıktı değerinin üyelik fonksiyonları tersine kullanılmaktadır ve bu işlem, durulaştırma olarak adlandırılmaktadır.

Literatürde, problemin türüne göre farklı durulaştırma yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; en büyük değerlerin üyelik derecesi yöntemi, en büyük değerlerin ortalaması yöntemi, iki bölge yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, toplam değerlerin merkezi yöntemi, yükseklik yöntemi, düzenlenmiş yükseklik yöntemi, kümelerin merkezi yöntemi şeklindedir (Akman, 2015).

Bu tez çalışmasında, en çok uygulanan durulaştırma yöntemlerinden biri olan, ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezi yöntemi ile bulanık çıktı verileri net (bulanık olmayan) değerlere dönüştürülmektedir. Bir bulanık kümenin ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi için 4.9’da verilen formül kullanılmaktadır (Akyuz, 2016).

$$RPN'' = \frac{\sum_{j=1}^l \mu_{R'}(RPN) \times RPN_j}{\sum_{j=1}^l \mu_{R'} RPN_j} \quad (4.9)$$

Burada; RPN'' tahmini değeri ve l etkinleştirilen RPN_j kurallarının sayısını göstermektedir.



5. DENİZCİLİK ENDÜSTRİSİ UYGULAMASI

5.1 Problemin Tanımı

Çalışmanın amacı; gemi operasyonlarında, dinamik risklerin ortaya çıkardığı potansiyel hataları ortadan kaldıran önlemleri belirleyerek emniyetli bir operasyon süreci sağlamaktır. FMEA yöntemi ile gemi operasyonlarını etkileyen dinamik risklerin etkilediği operasyonları oluşturan fonksiyonlar, alt sistemler ve bileşenler detaylıca irdelenmiştir. Bu kapsamda incelenecek dinamik riskler Çizelge 5.1’de listelenmiştir.

Çizelge 5.1 : Gemi operasyonlarını etkileyen dinamik risk faktörleri.

Tehlike Kaynağı	Kod
Görüş Durumu	MD1
Hava Durumu	MD2
Gece/Gündüz Durumu	MD3
Gelgit Durumu	MD4
Akıntı Hızı	MD5
Operasyonun Yapıldığı Yer	MD6
Geminin Boyu	MD7
Gemi Türü	MD8

Bu tez çalışmasında, önerilen yaklaşım için gerekli aşamalar aşağıda özetlenmiştir (Şekil 5.1);

Adım 1. Gemi gibi karmaşık sistemlerde, dinamik riskler ile ilgili ve bunlar ile ilişkili riskleri belirlemek için deniz tecrübesine sahip bir FMEA uzman ekibi oluşturulmuştur.

Adım 2. Dinamik risk faktörleri ile ilgili ve bunlar ile ilişkili riskleri belirlemek için başlangıç olarak beyin fırtınası oturumları yürütme yöntemi benimsenmiştir. Bu kapsamda, gemi operasyonları esnasında dinamik risk faktörlerinin (Çizelge 5.1) etkisi ile oluşan potansiyel tehlike kaynakları belirlenmiştir.

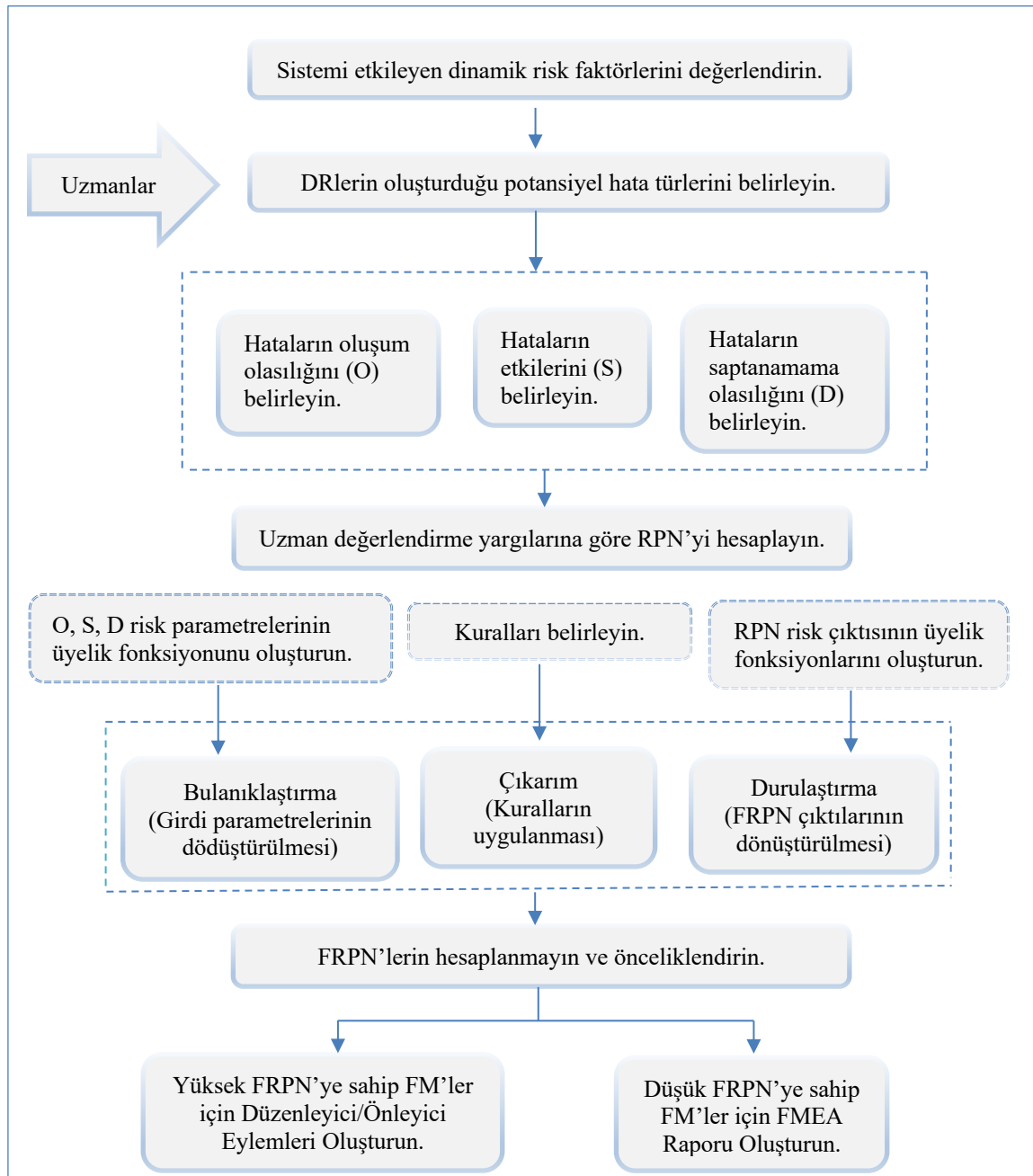
Adım 3. Hataların meydana gelme olasılığı, etkilerinin şiddetini ve hatanın tespit edilip edilemeyeceği uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir.

Adım 4. Değerlendirme sonuçlarına göre, risk faktörlerinin çarpımı ile RPN değeri hesaplanmıştır.

Adım 5. Bulanık FMEA için risk faktörlerinin üyelik fonksiyonları belirlenmiş ve bulanık mantık kuralları oluşturulmuştur.

Adım 6. FRPN değerleri hesaplanmış ve hata türleri FRPN değerlerine göre önceliklendirilmiştir.

Adım 7. Her bir hata türü için düzenleyici ve önleyici eylemler belirlenmiştir.



Şekil 5.1 : Bulanık FMEA süreci.

FMEA uygulamasında, yukarıdan aşağıya bir yaklaşımla sistemin değerlendirilmesi yapılır. Bir hata birden çok hatanın oluşmasında tetikleyici bir etkiye sahip olabilir ya da bir hatanın ortaya çıkmasında birden çok kök sebep etkili olabilir. Birden fazla hata tek bir hata türüne de yol açabilir (Stamatis, 2003). Bu sebeple, hata türlerinin belirlenmesinde uzman ekip oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

5.2 Katılımcıların Analizi

FMEA yönteminin uygulanabilmesi için öncelikli olarak bir uzman ekip oluşturulmuştur. Gemi operasyon süreçlerine etki eden dinamik risk faktörleri ve bu dinamik risk faktörlerinin sebep olacağı potansiyel hataların belirlenmesi ve aralarındaki ilişkilerin doğru değerlendirilmesi çalışmanın güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma, 7 uzmandan oluşan heterojen bir uzman grubu ile yürütülmüştür. Tecrübe ve bilgi seviyesinin ölçülmesi zordur, bu sebeple uzmanlar için ağırlıklandırma yapılmamıştır. Uzman grup; 5 akademisyen, 1 emniyet denetçisi ve 1 HSEQ müdüründen oluşmaktadır. Çalışmaya katılan uzmanlara ait genel bilgiler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Uzmanların özellikleri.

Uzman No.	Profesyonel Pozisyon	Deniz Tecrübesi	Kıyı Tecrübesi	Yeterlilik	Eğitim
1	Akademisyen	5	17	Uzakyol Kaptanı	PhD
2	Akademisyen	5	3	Uzakyol Kaptanı	Master
3	HSEQ Müdürü	6	4	Uzakyol 1. Zabit	Master
4	Emniyet Denetçisi	3	10	Uzakyol Kaptanı	PhD
5	Akademisyen	5	3	Uzakyol 2. Mühendis	Master
6	Akademisyen	2	3	Uzakyol Vardiya Mühendisi	Master
7	Akademisyen	10	9	Uzakyol Başmühendis	PhD

Uzman grup tarafından gemi operasyonlarına etki eden dinamik risk faktörlerinin sebep olduğu 25 hata türü tespit edilmiştir. Tespit edilen hata türleri Çizelge 5.3’te listelenmiştir.

Çizelge 5.3 : Gemi operasyonlarında dinamik risk kaynaklı hata türleri.

KOD	EKSİKLİK KAYNAĞI	KOD	POTANSİYEL HATA MODU
MD1	Görüş Durumu	FM1.1.	Görüş düşmesi ile güverteadaki personelin etrafındaki tehlikeleri fark edememesi
		FM1.2.	Görüş düşmesi ile geminin rıhtımı/römorkörü/babalari/halatları görememesi
MD2	Hava Durumu	FM2.1.	Buzda seyir
		FM2.2.	Güvertenin karlanma/buzlanması
		FM2.3.	Yağmur
		FM2.4.	Rüzgar şiddetinin/Deniz şiddetinin/Serpintilerin artması
		FM2.5.	Aşırı sıcaklar
		FM2.6.	Aşırı soğuk
		FM2.7.	Çok sert rüzgar
MD3	Gece/Gündüz Durumu	FM3.1.	Yetersiz aydınlatma
		FM3.2.	Yorgunluk/Bireysel hata
MD4	Gelgit Durumu	FM4.1.	Alçak su
		FM4.2.	Yüksek su
		FM4.3.	Gelgit yüksekliğinin ani değişimi
MD5	Akıntı Hızı	FM5.1.	Manevraya etki
		FM5.2.	Gemi süratinde artma/azalma
MD6	Operasyonun Yapıldığı Yer	FM6.1.	Güverte ekipmanları ve geminin yükü
		FM6.2.	Makine dairesi ve yürütülen operasyonlar
		FM6.3.	Statik elektriklenme
		FM6.4.	Yaşam mahalli işleri
MD7	Geminin Boyu	FM7.1.	Gemi boyutlarının artması
		FM7.2.	Gemi draftının fazla olması/Liman yeri yetersiz su miktarı
		FM7.3.	Geminin aşırı yüklenmesi
MD8	Gemi Türü	FM8.1.	Gemi yapı/ekipmanlarındaki farklılık
		FM8.2.	Gemilerin yükleri

Tespit edilen hata türleri uzman ekip tarafından gözden geçirilmiş ve her riskin ortaya çıkma olasılığı, etkisi ve nedenleri incelenmiştir. Her bir hata türünün operasyon üzerindeki etkileri ve sonuçları Çizelge 5.4’te listelenmiştir.

Çizelge 5.4 : Hata türlerinin gemi operasyonları üzerindeki etkileri ve sonuçları.

KOD	POTANSİYEL HATA ETKİSİ	POTANSİYEL SONUÇLAR
FM1.1.	İrgat, vinç vb. hareketli obje çarpması Manevra esnasında halat çarpması, dolanması, demir durumunun gözlenememesi vb. tehlikeler Yük taşması/zarar görmesi vb. tehlikelerin fark edilmemesi Personelin kayması/düşmesi vb. tehlikeler Personelin halatlardaki/demirdeki gerilmeyi/boşlamayı/kopmayı tespit edememesi Personelin birbiriyle ve sahille görsel iletişim kuramaması nedeniyle etkin/ zamanında operasyon/müdahale yapılamaması	Çarpmanın etkisiyle personel yaralanması Operasyona katılan ve/veya geri çekilme bölgelerinde bulunan personelin yaralanması Kirlilik sonucu ağır çevre hasarı oluşması, ağır para cezalarının getirdiği finansal kayıplar Personel yaralanmaları Personel yaralanmaları, Ekipmanda/gemide hasar Personel yaralanmaları, Ekipmanda/gemide hasar
FM1.2.	Geminin rıhtıma çarpması Demirleme operasyonunun başarısız olması Römorkörün etkin kullanılamaması Kılavuz Kaptanın etkin müdahale edememesi	Çarpmanın etkisiyle personelin/römorkörün/rıhtımın/geminin zarar görmesi Etrafta varsa diğer gemilere çarpma; karaya sürüklenme vb. tehlikeler Römorkörün rıhtıma çarpması, gemiye zarar vermesi. Manevranın zorlaşması, operasyonun gecikmesi vb. tehlikeler Geminin rıhtıma çarpması, halat kopması sonucunda personel yaralanmaları
FM2.1.	Gemi manevra/ seyrinde zorluk yaşanması Deniz buzlarının tekneye zarar vermesi Deniz suyu kinistinlerinin donması Yetersiz deniz suyu nedeniyle deniz suyu basıncının düşmesi	Geminin buzda sıkışması, geminin seyre devam edememesi Buzların tekneye ve pervaneye yapısal hasar vermesi Soğutma suyu devresine yetersiz veya hiç deniz suyu gitmemesi Ana makine ve Jeneratörlerin soğutma suyu ve yağ sıcaklıklarının aşırı yükselmesi sonucu devreden çıkmaları
FM2.2.	Personelin kayması/düşmesi vb. tehlikeler Güverte ekipmanlarının etkin kullanılamaması Gemi stabilitesini olumsuz etkilemesi Pompa/ devre/ boru sistemlerinin donması	Personelin denize düşmesi, yaralanmaları Operasyonların gecikmesi, acil durumlara müdahalede gecikme, zararlarda artış Gemi GM'inde düşme, fazla yükten dolayı geminin batması/alabora olması. Geminin overload olması Kargo/ balast operasyonlarında gecikme, acil durumlara (yangın vb.) etkili müdahale edilememesi

Çizelge 5.4 (devam) : Hata türlerinin gemi operasyonları üzerindeki etkileri ve sonuçları.

KOD	POTANSİYEL HATA ETKİSİ	POTANSİYEL SONUÇLAR
FM2.3	Güvertenin ıslanması nedeniyle kaygan zemin oluşması Güverte yüklerinin ıslanması/ambar veya tanklara su sızması Makine alanlarını su basması	Kaymaya bağlı iş kazaları, personel yaralanmaları Yük bozulmalarından dolayı maddi zarar, Stabilitenin bozulması ile negatif GM ve geminin alabora olması Özellikle elektrik panolarının ve egzoz bacalarının su ile dolması (emergency jeneratör gibi)
FM2.4	Gemi rıhtıma çarpması Gemi kumandasının/manevrasının zorlaşması Halatlara fazla yük binmesi/kopma vb. tehlikeler Personelin ayakta/dengede duramaması Rüzgar uğultusu Makine dairesi, güverte, yaşam mahalli, köprüüstü ve kuzinedeki hareketli objelerden kaynaklanan mekanik tehlikeler	Çarpmanın etkisiyle personelin/römorkörün/rıhtımın/geminin zarar görmesi Gemi kumandasının zorlaşmasına bağlı olarak dümenin komut dinlememesi Operasyona katılan/snap-back'te bulunan personelin yaralanması Operasyonuna katılan personelin yaralanması Rüzgar uğultusu nedeniyle etkin haberleşme sağlanamaması ve etkin müdahale edilememesi. Kıyı ile köprüdeki ve römorkördeki personelin kontrolsüz eylemleri Personel yaralanmaları
FM2.5	Personelin sıcaktan zarar görmesi	Personel yaralanmaları
FM2.6	Devredeki yükün donması Personel uzuvlarında soğuk yanık	Pompaların arızalanması, devre basıncının artması, yük sızıntı/kaçaklarının yaşanması Personel yaralanmaları
FM2.7	Antenlerde tahribat	Haberleşmenin yapılamaması, radarın çalışmaması

Çizelge 5.4 (devam) : Hata türlerinin gemi operasyonları üzerindeki etkileri ve sonuçları.

KOD	POTANSİYEL HATA ETKİSİ	POTANSİYEL SONUÇLAR
FM3.1	Güvertedeki personelin etrafındaki tehlikeleri fark edememesi Geminin rıhtımı/römorkörü/babaları/halatları görememesi	Irgat, vinç vb. hareketli obje çarpması nedeniyle personel yaralanmaları Manevra esnasında halat çarpması/dolanması Yük taşması/yükün zarar görmesi vb. tehlikeler fark edilememesi Kaymalar/Düşmeler sonucu personel yaralanmaları Personelin halatlardaki/demirdeki gerilmeyi/boşlamayı/kopmayı tespit edememesi, gemi ve yükte zarar Personelin birbiriyle ve sahille görsel iletişim kuramaması nedeniyle etkin/zamanında operasyon/müdahale yapılamaması Geminin rıhtıma çarpması, Çarpmanın etkisiyle personelin/römorkörün/rıhtımın/ geminin zarar görmesi Demirleme operasyonunun başarısız olması, etrafta varsa diğer gemilere çarpma; karaya sürüklenme Römorkör etkin kullanılamaması Kılavuz Kaptanın etkin müdahale edememesi Personelin görüşünün olumsuz etkilenmesi ve personel yaralanmaları
FM3.2	Makine dairesinin karanlık olması Köprüüstü, pruva ve pupa manevra alanı arasındaki iletişim hatası Kıyı veya köprüüstü ile hatalı iletişim Personelin emniyetsiz davranışı Makine manevrası esnasında makine&güverte iletişimsizliği	Köprü ve pruva-pupa hattı arasındaki iletişimin yetersiz olması, personel yaralanmaları, geminin hasar görmesi Etkin/zamanında operasyon/müdahale yapılamaması. Geminin rıhtıma çarpması, karaya oturma gibi olaylar neticesinde yapısal hasar oluşması Personel yaralanmaları Yanlış iletişim sonucu yanlış makine komutlarının verilmesi/algılanması
FM4.1	Karaya oturma Makineye deniz suyunun yeterli çekilememesi, çamurun çekilmesi	Kısıtlı yanaşma/kalkma operasyonu Deniz suyu filtrelerinin tıkanması ve makina soğutmalarının bozulması
FM4.2	Hortum/halat/borda iskelesi zarar görmesi Deniz suyu yüzeyindeki çöplerin geminin soğutma sistemine çekilmesi	Hortum ve halatların kopmasına/parçalanmasına sebep olabilir. Deniz suyu filtrelerinin tıkanmasına ve makina soğutmalarının bozulmasına neden olabilir.

Çizelge 5.4 (devam) : Hata türlerinin gemi operasyonları üzerindeki etkileri ve sonuçları.

KOD	POTANSİYEL HATA ETKİSİ	POTANSİYEL SONUÇLAR
FM4.3	Gemi yanaşma/kalkma/manevranın zorlaşması Halat/ hortum sıkışması ve gerilimlerinin artması Hızlı değişim ve akıntı nedeniyle kinistinlerin tıkanması	Gemi manevrası esnasında pervane ve dümen donanımının zarar görmesi Halatlarda aşınma, yıpranma meydana gelebilir. Deniz suyu filtrelerinin tıkanması ve makina soğutmalarının bozulması
FM5.1	Gemi yanaşma/kalkma/manevranın zorlaşması Limanda halatlara fazla yük binmesi/kopma vb. tehlikeler Dümen donanımının kullanılamaması Akıntı nedeniyle ana makinelerin zorlanması	Dümenin dinlenememesi nedeniyle deniz kazası Halatlarda aşınma, yıpranma Dümenin komutları karşılayamaması sonucu çatışma Yükselen hararetler ve performansın düşmesi nedeniyle zorlanmalar
FM5.2	Zorlu manevra, Karaya çarpma	Karaya oturma, dönme çemberinin büyümesi, çatışma/çatma
FM6.1	Yapılan tamir bakım işlemi esnasında yüke zarar verme Güverte hareketli sistem/objelerin oluşturduğu tehlikeler	Personel yaralanmaları, ekipmanda hasar Personel yaralanmaları
FM6.2	Çalışan makine/sistemlerin oluşturduğu tehlikeler	Anormal çalışma sonrası makinede maddi hasar, personel yaralanmaları
FM6.3	Yangın, patlama	Personel yaralanmaları, gemide hasar ve mal kaybı
FM6.4	Yaşam mahallinde karşılaşılabilecek tehlikeler/Hareketli objeler/kuzinedeki ekipmanlar vb.	Ekipman çarpması/dökülmesi ile personel yaralanmaları (yanıklar vb.)
FM7.1	Manevranın zorlaşması Kargo operasyonunun zorlaşması Tehlikelere müdahale gecikmesi Geminin ana makinesindeki zorlanmalar	Çatma ve çatışma sonucu gemide hasar, operasyonlarda gecikme Operasyonlarda gecikme Personel yaralanmaları, Ekipman veya gemide hasar Geminin servis hızının düşmesi
FM7.2	Geminin oturması, Cidarın yırtılması	Kirlilik, mal kaybı
FM7.3	Liman yeri kollarının alçak sevide kalması, Gangway'ın yetersiz kalması Köprü geçişlerinde tehlikeli durum oluşturması (BOC - Bridge Over Clearance)	Kirlilik, riskli personel giriş çıkışları Kara yapılarında (köprü vb.) hasar
FM8.1	Güverte donanımları/yük donanımları/kreynler	Yük kreynlerinin kırılması, halatların veya grablerin (kepçe, kapmaların) zarar görmesi
FM8.2	Yangın/patlama/zararlı gaz çıkarma/stabiliteye olumsuz etkileri Güverte yüklerinin görüşü engellemesi	Tank temizliği esnasında yetersiz havalandırma nedeniyle oksijen eksikliği personelin yaralanması (zehirleyici etki, yüksek doz radyasyon, ölüm) Görüşün net olmaması nedeniyle deniz kazası

Daha sonra, tespit edilen hata türlerinin oluşma sıklığı, sebepleri ve etkileri arasındaki ilişki, uzman ekip tarafından dilsel terimler ile değeriendirilmiştir. Uzmanların dilsel yargıları, daha sonra bulanık küme teorisi yardımı ile nicel sonuçlara dönüştürülmüştür (Çizelge 5.5).



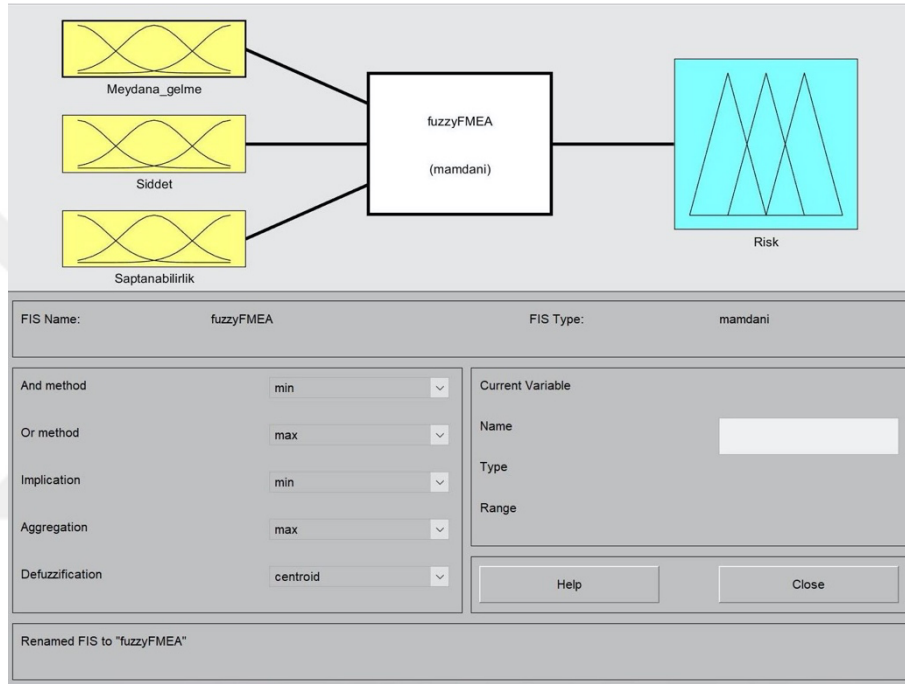
Çizelge 5.5 : Uzman değerlendirmeleri.

FM	Uzman 1			Uzman 2			Uzman 3			Uzman 4			Uzman 5			Uzman 6			Uzman 7		
	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D
FM1.1.	3	6	6	6	8	2	6	6	3	8	7	2	6	7	4	6	7	4	8	8	3
FM1.2.	3	7	6	6	8	2	3	7	4	6	8	3	3	8	6	6	6	2	8	8	4
FM2.1.	3	6	3	3	7	7	8	6	3	3	7	2	8	7	5	8	6	3	6	7	3
FM2.2.	3	5	3	3	7	2	8	6	5	3	8	3	8	6	5	6	8	5	6	7	4
FM2.3.	6	4	3	6	6	2	8	5	4	8	6	2	8	8	7	6	8	3	10	8	4
FM2.4.	8	5	3	8	5	3	6	7	4	8	5	4	6	6	5	8	7	3	8	8	4
FM2.5.	6	5	2	8	7	4	6	5	5	6	4	2	3	5	6	1	5	1	6	7	3
FM2.6.	6	5	2	6	6	5	6	6	5	6	4	2	6	7	5	3	7	3	6	7	3
FM2.7.	6	6	3	8	8	7	6	5	5	8	7	2	8	7	7	8	6	4	6	7	3
FM3.1.	6	5	2	6	6	3	3	6	4	3	7	4	6	8	7	3	8	4	10	8	4
FM3.2.	8	6	5	6	6	5	8	6	4	6	8	6	10	8	7	8	7	6	10	8	4
FM4.1.	6	5	5	3	5	4	3	6	3	3	6	2	3	6	6	3	5	4	6	7	3
FM4.2.	6	5	5	3	5	4	3	7	3	3	6	2	10	8	7	3	6	3	6	7	3
FM4.3.	3	6	6	1	2	2	6	7	3	6	7	3	8	7	3	6	6	3	6	7	3
FM5.1.	3	6	5	6	4	4	6	6	3	8	7	4	6	6	6	8	7	4	6	7	3
FM5.2.	3	7	5	6	4	4	6	6	4	6	6	3	10	7	7	3	5	3	6	7	3
FM6.1.	8	5	6	8	8	5	3	6	3	3	5	4	6	7	7	8	8	3	6	7	3
FM6.2.	8	5	6	6	3	5	3	7	3	6	6	4	6	7	5	8	8	3	6	7	3
FM6.3.	3	6	7	10	9	5	3	8	2	6	5	3	8	5	4	3	10	7	8	8	4
FM6.4.	8	5	5	6	7	5	6	6	3	3	4	2	3	7	7	10	7	4	6	8	3
FM7.1.	6	6	2	8	8	5	3	7	3	3	7	2	6	7	3	3	8	3	6	6	4
FM7.2.	3	5	3	6	6	5	3	8	2	8	8	4	8	7	6	5	8	4	6	6	4
FM7.3.	6	4	3	6	6	5	3	8	2	6	8	3	6	6	7	3	7	2	6	6	4
FM8.1.	6	5	3	8	7	8	8	7	3	6	7	4	3	7	6	3	8	4	8	7	3
FM8.2.	8	6	3	3	6	3	3	8	2	6	7	4	8	8	5	5	8	4	8	7	3

FM: Hata türü, O: Meydana gelme, S: Şiddet, D: Saptanabilirlik

5.3 Bulanık FMEA Uygulaması

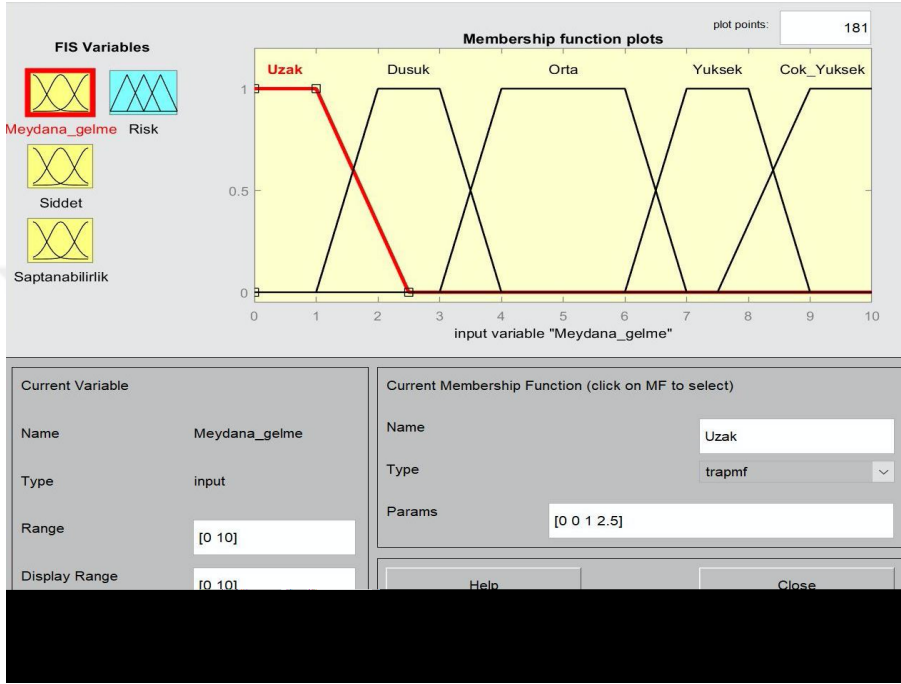
Gemi operasyonları esnasında dinamik risklerin oluşturacağı potansiyel hata türlerinin incelenmesi amacı ile Şekil 5.2'deki model oluşturulmuştur. Model, üç girdi değişkeninden (meydana gelme, şiddet ve saptanabilirlik) ve bir çıktı değişkeninden (RPN) oluşmaktadır. Bulanık RPN değerlerinin hesaplanması için MATLAB yazılımı (Mathworks.Matlab.R2020b)'nda bulunan bulanık mantık araç kutusundan yararlanılmıştır.



Şekil 5.2 : Bulanık çıkarım sistemi (FIS) editörü.

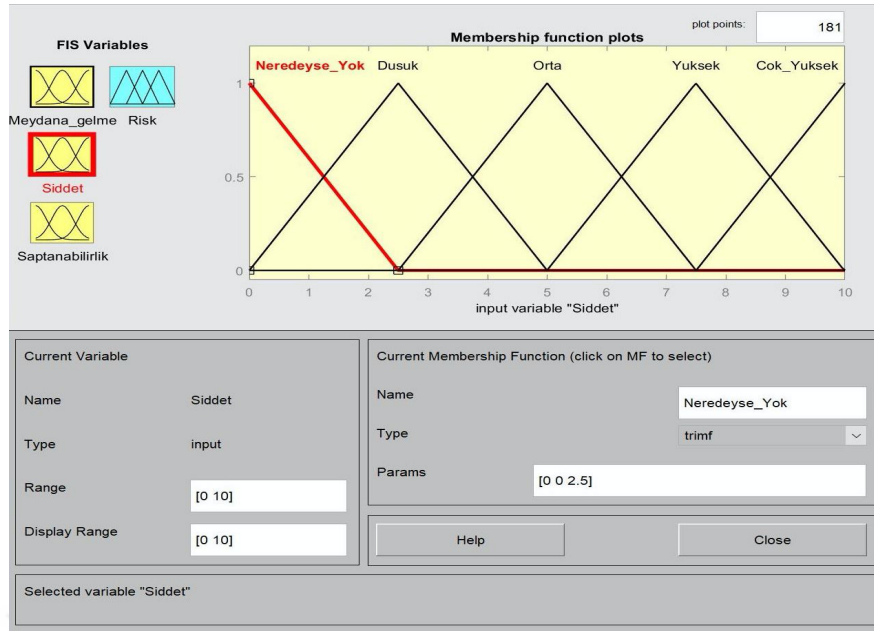
Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki eğer-ise kurallarının sisteme tanımlanması Bulanık Çıkarım Sistemi Editörü üzerinden sağlanmaktadır. Bulanık mantık araç kutusunda AND (ve) ve OR (veya) olmak üzere iki işlemci bulunmaktadır. AND işlemcisi, min (en düşük) ve prod (çarpım) işlemlerini, OR işlemcisi ise max (en yüksek) ve probor (olasılıksal) işlemlerini desteklemektedir. Aggregation (Birleştirme) işlemi ise max (en yüksek), probor (olasılıksal) ve sum (her bir çıktı sonucunun toplamı) işlemlerini desteklemektedir. Bu tez çalışmasında, AND/OR işlemi için min/max işlemleri, birleştirme işlemi için ise max işlemi kullanılmıştır.

Durulaştırma işleminde ise birleştirme işleminin girdisi olan bulanık çıktı kümesi kullanılır. Durulaştırma işlemi için merkezi değer (centroid), açıortay (bisector), maksimumların ortalaması, en büyük maksimum, en küçük maksimum olmak üzere beş yöntem kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, durulaştırma işlemi için en çok kullanılan yöntem olan, merkezi değer yöntemi kullanılmıştır (şekil 5.2). Çıkarım mekanizmasında, Mamdani yöntemi kullanılmıştır.



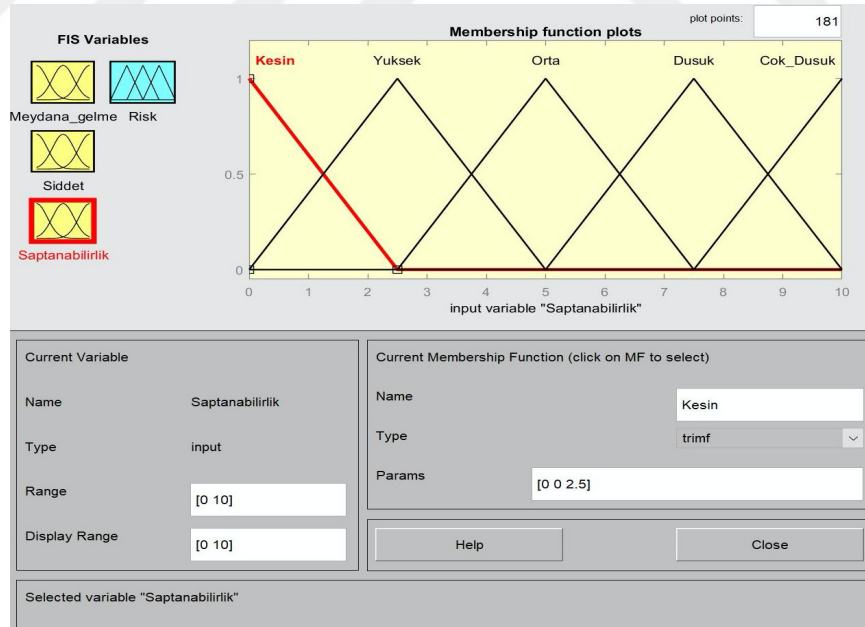
şekil 5.3 : Meydana gelme (girdi değişkeni) yelik fonksiyonu.

Kurulan model için girdi ve çıktı değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarının sisteme tanımlanması ve değiştirilme işlemi, Bulanık ıkarım Sistemi Editörü üzerinden sağlanır. Meydana gelme girdi değişkenine ait üyelik fonksiyonu için yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (şekil 5.3). Meydana gelme üyelik fonksiyonu için onlu ölçek, beş blęeye bölünmüştür. Yamuk yelik fonksiyonu ile temsil edilen bu alt blęeler sırasıyla, uzak, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4 : Şiddet (girdi değişkeni) üyelik fonksiyonu.

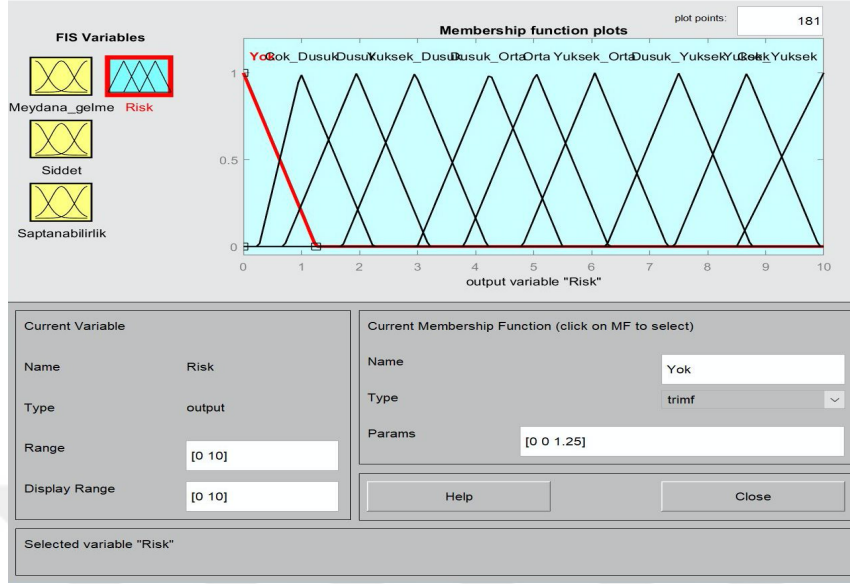
Şiddet girdi değişkenine ait üyelik fonksiyonu için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 5.4). Şiddet üyelik fonksiyonu için onlu ölçek, beş bölgeye bölünmüştür. Üçgen üyelik fonksiyonu ile temsil edilen bu alt bölgeler, sırasıyla, neredeyse yok, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak belirlemiştir.



Şekil 5.5 : Saptanabilirlik (girdi değişkeni) üyelik fonksiyonu.

Saptanabilirlik girdi değişkenine ait üyelik fonksiyonu için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 5.5). Saptanabilirlik üyelik fonksiyonu için onlu ölçek, beş

bölgeye bölünmüştür. Üçgen üyelik fonksiyonu ile temsil edilen bu alt bölgeler, sırasıyla, kesin, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.6 : Risk (çıktı değişkeni) üyelik fonksiyonu.

Risk çıktı değişkeni (RPN)'ne ait üyelik fonksiyonu için ise üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 5.6). RPN üyelik fonksiyonu için onlu ölçek, on farklı bölgeye bölünmüştür. Üçgen üyelik fonksiyonu ile temsil edilen bu alt bölgeler, sırasıyla, yok, çok düşük, düşük, yüksek düşük, düşük orta, orta, yüksek orta, düşük yüksek, yüksek, çok yüksek olarak belirlenmiştir.

114. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Dusuk) then (Risk is Orta) (1)

115. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Cok_Dusuk) then (Risk is Yuksek_Orta) (1)

116. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Yuksek) and (Saptanabilirlik is Kesin) then (Risk is Dusuk_Orta) (1)

117. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Risk is Orta) (1)

118. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Yuksek) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk is Yuksek_Orta) (1)

119. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Yuksek) and (Saptanabilirlik is Dusuk) then (Risk is Dusuk_Yuksek) (1)

120. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Yuksek) and (Saptanabilirlik is Cok_Dusuk) then (Risk is Yuksek) (1)

121. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Cok_Yuksek) and (Saptanabilirlik is Kesin) then (Risk is Yuksek_Orta) (1)

122. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Cok_Yuksek) and (Saptanabilirlik is Yuksek) then (Risk is Dusuk_Yuksek) (1)

123. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Cok_Yuksek) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk is Yuksek) (1)

124. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Cok_Yuksek) and (Saptanabilirlik is Dusuk) then (Risk is Cok_Yuksek) (1)

125. If (Meydana_gelme is Cok_Yuksek) and (Siddet is Cok_Yuksek) and (Saptanabilirlik is Cok_Dusuk) then (Risk is Cok_Yuksek) (1)

If: Meydana_gelme is, and, Siddet is, and, Saptanabilirlik is, Then: Risk is

Uzak, Dusuk, Orta, Yuksek, Cok_Yuksek, none

Neredeyse_Yok, Dusuk, Orta, Yuksek, Cok_Yuksek, none

Kesin, Yuksek, Orta, Dusuk, Cok_Dusuk, none

Dusuk, Yuksek_Dusuk, Dusuk_Orta, Orta, Yuksek_Orta, Dusuk_Yuksek, Yuksek, Cok_Yuksek

not, not, not, not

Connection: or, and

Weight: 1

Delete rule, Add rule, Change rule

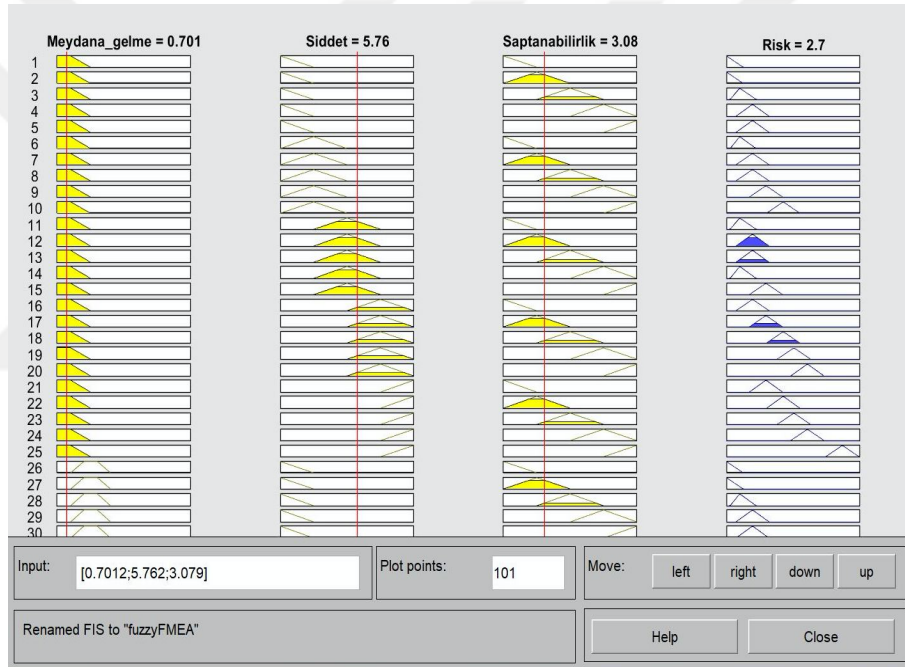
FIS Name: fuzzyFMEA

Help, Close

Şekil 5.7 : Dinamik risk değerlendirme kural tabanı.

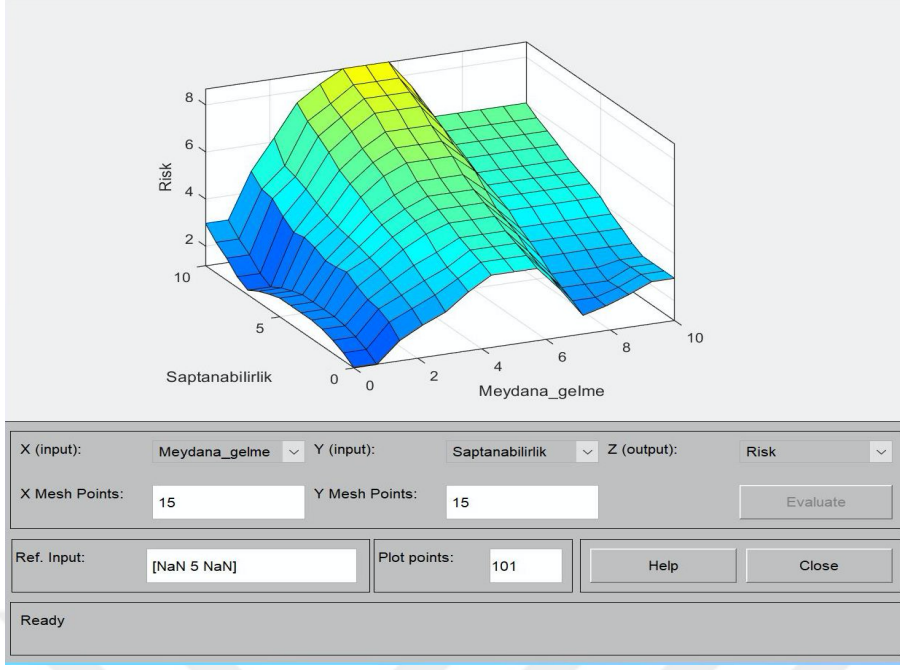
Sistemde, 125 kuraldan oluşan bir kural tabanı tanımlanmıştır (Şekil 5.7). Bu kurallar problem çözümünün temelini oluşturmaktadır. Uzman grup üyeleri tarafından, olası bütün durumlar değerlendirilerek oluşturulan kural listesi EK-B, Çizelge B.1’de verilmiştir. Oluşturulan kurallardan bazıları aşağıdaki gibidir;

- EĞER meydana gelme; çok yüksek VE şiddet; çok yüksek VE saptanabilirlik çok düşük İSE o halde RPN; çok yüksektir.
- EĞER meydana gelme; düşük VE şiddet; yüksek VE saptanabilirlik yüksek İSE o halde RPN; ortadır.
- EĞER meydana gelme; orta VE şiddet; düşük VE saptanabilirlik kesin İSE o halde RPN; düşüktür.



Şekil 5.8 : Dinamik risk değerlendirme sistemi kural görüntüleme ekranı.

Sistemde tanımlanan kurallar ve analiz sonuçları, MATLAB yazılımı üzerinde kural görüntüleyici sistemine aktarılabilir (Şekil 5.8). Her bir grafik satırı bir kuralı temsil etmektedir.



Şekil 5.9 : Dinamik risk değerlendirme sistemi için RPN'ye ait yüzey gösterimi.

Sistemde tanımlanan kurallar ve analiz sonuçları, MATLAB yazılımı üzerinde yüzey görüntüleyici sistemine aktarılabilir (Şekil 5.9). Kurulan modelin çözümüne ait bulanık sistem için meydana gelme, şiddet ve saptanabilirlik girdi verileriyle elde edilen PRN çıktı değerlerinin üç boyutlu yüzeysel görünümü gösterilmektedir. Şekildeki görünüm, sistemde tanımlanan 125 kural için geliştirilmiştir. Yüzey Gösterim grafiği, çıktının girdilerden hangisi ile ne derece ilişkili olduğunun ve hangi değer aralıklarında ne kadar etkili olduğunun yorumlanabilmesine imkan sağlar (Kubat, 2013).

5.4 Bulanık FMEA ile Tespit Edilen Risk Faktörlerinin ve Risk Öncelik Sayılarının Değerlendirilmesi

Önerilen yaklaşımın fizibilite çalışması yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonu için yapılmıştır. Yanaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonuna ait dinamik risklerin oluşturacağı potansiyel hata türleri uzman ekip tarafından belirlenmiştir. Uzman ekibin her bir hata türü için meydana gelme, şiddet ve saptanabilirlik değerlendirmeleri kullanılarak RPN değeri hesaplanmıştır. Daha sonra, oluşturulan model yardımı ile Çizelge 5.6'da verilen hata türlerine ait bulanık RPN (FRPN) değerleri elde edilmiş ve hata türleri FRPN değerlerine göre önceliklendirilmiştir. Daha yüksek RPN değerine

sahip hata türü, operasyon süreci için daha kritik olması sebebiyle düzeltilmesi için öncelik verilmektedir.

Çizelge 5.6'te FMEA yöntemi kullanılarak hesaplanan RPN değerleri ile bulanık mantık yaklaşımı ile hesaplanan FRPN değerleri görülmektedir. RPN ve FRPN değerlerine göre önceliklendirmeler incelendiğinde hata türlerinin sıralamasında büyük ölçüde değişiklik olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre; 3.2 (Yorgunluk/Bireysel hata), 2.7 (Çok sert rüzgâr) ve 7.1 (Gemi boyutlarının artması) hatalarının sıralamasında bir değişiklik olmamıştır ancak diğer hata türlerinin sıralamasında değişiklikler gözlemlenmiştir. Yani, yavaşma/kalkma/halat/demirleme operasyonunda dinamik risk kaynaklı 25 potansiyel hata türüne ait RPN ve FRPN değerleri arasında yaklaşık %12 oranında bir uyum söz konusudur.

FM2.5 (Aşırı sıcaklar) riski, Bulanık FMEA'dan önce 107,142 RPN değerine sahipti ve öncelik numarası 23'tü. Bulanık FMEA'dan sonra, 7,231 FRPN değeri ile önem seviyesi yirmi seviye arttı ve 3 numaraya yükseldi.

Ek olarak, FM4.1 (Alçak su) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 100,425 ve öncelik numarası 24'tü. Bulanık FMEA'dan sonra, 7,164 FRPN değeri ile önem seviyesi yirmi seviye arttı ve 4 numaraya yükseldi.

Ayrıca, FM5.2 (Gemi süratinde artma/azalma) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 157,451 ve öncelik numarası 15'ti. Bulanık FMEA'dan sonra, 7,082 FRPN değeri ile önem seviyesi on seviye arttı ve 5 numaraya yükseldi.

FM6.2 (Makine dairesi ve yürütülen operasyonlar) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 171,739 ve öncelik numarası 8'di. Bulanık FMEA'dan sonra, 7,029 FRPN değeri ile önem seviyesi iki seviye arttı ve 6 numaraya yükseldi.

FM5.1 (Akıntının manevraya etkisi) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 171,739 ve öncelik numarası 8'di. Bulanık FMEA'dan sonra, 7,029 FRPN değeri ile önem seviyesi bir aşama arttı ve önem seviyesi 6'ya yükseldi.

FM6.1 (Güverte ekipmanları ve geminin yükü) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 190,022 ve öncelik numarası 5'ti. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,973 FRPN değeri ile önem seviyesi iki aşama düştü ve önem seviyesi 7 numaraya geriledi.

Çizelge 5.6 : Bulanık RPN değerleri.

Kod	Hata Türü	RPN	Önceliklendirme	Fuzzy RPN	Önceliklendirme
FM3.2	Yorgunluk/Bireysel hata	311,410	1	8,168	1
FM2.7	Çok sert rüzgâr	223,282	2	7,260	2
FM2.5	Aşırı sıcaklar	107,142	23	7,231	3
FM4.1	Alçak su	100,425	24	7,164	4
FM5.2	Gemi süratinde artma/azalma	157,451	15	7,082	5
FM6.2	Makine dairesi ve yürütülen operasyonlar	171,739	8	7,029	6
FM5.1	Manevraya etki	171,739	8	7,029	6
FM6.1	Güverte ekipmanları ve geminin yükü	190,022	5	6,973	7
FM6.4	Yaşam mahalli işleri	171,655	9	6,970	8
FM2.6	Aşırı soğuk	134,798	19	6,907	9
FM2.3	Yağmur	185,964	6	6,897	10
FM4.2	Yüksek su	133,171	20	6,871	11
FM4.3	Gelgit yüksekliğinin ani değişimi	116,798	22	6,858	12
FM8.1	Gemi yapı/ekipmanlarındaki farklılık	197,614	4	6,808	13
FM2.4	Rüzgâr şiddetinin/Deniz şiddetinin/Serpintilerin artması	184,903	7	6,804	14
FM7.3	Geminin freeboard'ının fazla olması	138,209	18	6,772	15
FM2.1	Buzda seyir	151,398	17	6,706	16
FM2.2	Güvertenin karlanma/buzlanması	152,299	16	6,675	17
FM3.1	Yetersiz aydınlatma	160,390	12	6,632	18
FM7.2	Gemi draftının fazla olması/Liman yeri yetersiz su miktarı	168,226	10	6,632	18
FM6.3	Statik elektriklenme	210,489	3	6,548	19
FM1.1	Görüş düşmesi ile güverteadaki personelin etrafındaki tehlikeleri fark edememesi	162,839	11	6,346	20
FM7.1	Gemi boyutlarının artması	125,410	21	6,258	21
FM8.2	Gemilerin yükleri	158,850	13	6,224	22
FM1.2	Görüş düşmesi ile geminin rıhtımı/römorkörü/babalari/halatları görememesi	158,675	14	6,080	23

FM6.4 (Yaşam mahalli işlerinin tehlikeleri) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 171,655 ve öncelik numarası 9'du. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,970 FRPN değeri ile önem seviyesi bir aşama arttı ve 8 numaraya yükseldi.

FM2.6. (Aşırı soğuk) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 134,798 ve öncelik numarası 19'du. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,907 FRPN değeri ile önem seviyesi on aşama düştü ve 9 numaraya geriledi.

FM2.3 (Yağmur) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 185,964 ve öncelik numarası 6'ydı. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,897 FRPN değeri ile önem seviyesi dört aşama düştü ve 10 numaraya geriledi.

FM4.2 (Yüksek su) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 133,171 ve öncelik numarası 20'ydi. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,871 FRPN değeri ile önem seviyesi dokuz aşama arttı ve 11 numaraya yükseldi.

FM4.3 (Gelgit yüksekliğinin ani değişimi) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 116,798 ve öncelik numarası 22'ydi. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,858 FRPN değeri ile önem seviyesi on aşama arttı ve 12 numaraya yükseldi.

FM8.1 (Gemi yapı/ekipmanlarındaki farklılık) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 197,614 ve öncelik numarası 4'tü. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,808 FRPN değeri ile önem seviyesi dokuz aşama düştü ve 13 numaraya geriledi.

FM2.4 (Rüzgar şiddetinin/Deniz şiddetinin/Serpintilerin artması) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 184,903 ve öncelik numarası 7'ydi. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,804 FRPN değeri ile önem seviyesi yedi aşama düştü ve 14 numaraya geriledi.

FM7.3. (Geminin freeboard'ının fazla olması) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 138,209 ve öncelik numarası 18'di. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,772 FRPN değeri ile önem seviyesi üç aşama arttı ve 15 numaraya yükseldi.

FM2.1 (Buzda seyir) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 151,398 ve öncelik numarası 17'ydi. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,706 FRPN değeri ile önem seviyesi bir aşama arttı ve 16 numaraya yükseldi.

FM2.2 (Güvertenin karlanma/buzlanması) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 152,299 ve öncelik numarası 16'ydi. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,675 FRPN değeri ile önem seviyesi bir aşama düştü ve 17 numaraya geriledi.

FM3.1 (Yetersiz aydınlatma) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 160,390 ve öncelik numarası 12'ydı. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,632 FRPN değeri ile önem seviyesi altı aşama düştü ve 18 numaraya geriledi.

FM7.2 (Gemi draftının fazla olması/Liman yeri yetersiz su miktarı) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 168,226 ve öncelik numarası 10'du. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,632 FRPN değeri ile önem seviyesi sekiz aşama düştü ve 18 numaraya geriledi.

FM6.3 (Statik elektriklenme) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 210,489 ve öncelik numarası 3'tü. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,548 FRPN değeri ile önem seviyesi onaltı aşama düştü ve 19 numaraya geriledi.

FM1.1 (Görüş düşmesi ile güvertedeki personelin etrafındaki tehlikeleri fark edememesi) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 162,839 ve öncelik numarası 11'di. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,346 FRPN değeri ile önem seviyesi dokuz aşama düştü ve 20 numaraya geriledi.

FM7.1 (Gemi boyutlarının artması) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 125,410 ve öncelik numarası 21'di. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,258 FRPN değeri ile önem seviyesi değişmedi.

FM8.2 (Gemilerin yükleri) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 158,850 ve öncelik numarası 13'tü. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,224 FRPN değeri ile önem seviyesi dokuz aşama düştü ve 22 numaraya geriledi.

FM1.2 (Görüş düşmesi ile geminin rıhtımı/römorkörü/babaları/halatları görememesi) riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 158,675 ve öncelik numarası 14'tü. Bulanık FMEA'dan sonra, 6,080 FRPN değeri ile önem seviyesi dokuz aşama düştü ve 23 numaraya geriledi.

Çalışmada, sekiz ana risk faktörü için elde edilen nihai sonuç, bulanık RPN şeklindedir. Tablo 5.6 ışığında, gözlemlenen 25 hata türünden 7 hata türünün FRPN değerinin 7 ve üzeri olduğu tespit edilmiştir. Bu operasyonlar için değişen risklere daha fazla dikkat edilmesi ve risk azaltıcı faaliyetler geliştirilmesi önerilmektedir.

FM3.2. hata türü, 8,168 değeri ile en yüksek FRPN değerine sahiptir. Gemi adamlarının yeterince dinlenememesi operasyon esnasında gerekli tepkilere etkin/zamanında müdahale yapılamamasına sebep olabilir. Bu durumda, geminin rıhtıma

arpması, karaya oturma gibi olaylar neticesinde gemide yapısal hasar meydana gelebilir ve personel yaralanabilir. Köprü ve pruva-pupa hattı arasındaki iletişimin hatalı ya da yetersiz olmasına sebep olabilir. Yanlış iletişim sonucu gemi adamının yanlış makine komutları vermesine ya da algılamasına yol açabilir.

FM 2.7. hata türü, bir diğerkritik hata türüdür, çünkü tüm hata türleri arasında 7,260 değeri ile 2. sıradadır. Bu hata türünün oluşması halinde, antenlerde oluşacak tahribata bağlı olarak radar çalışmayabilir, haberleşme yapılamayabilir. Yeterli iletişim kurulamaması sonucunda, gemiye ve mala zarar verilebilir. Çok sert rüzgar, geminin manevra yeteneğini etkiler. Özellikle yanaşma/kalkma manevralarında personele ve gemiye zarar verecek tehlikeleri barındırır. Demirdeki gemilerin demir taramasına sebep olabilir. Örneğin, Biskay Körfezi'ne kıyısı olan bir ülkenin (Portekiz gibi) mevsimsel dönemlerde ağır havaya maruz kalması durumunda birçok yanaşma/kalkma manevrası iptal edilmekte, demir bölgesinde bekleyen gemiler için ise sürekli olarak demir pozisyonlarının kontrol edilmesi hatta gerekliyse demir alıp drifte beklenmesi istenebilmektedir.

nc en yüksek RPN değeriine sahip hata türü, 7,231 ile FM2.5 (aşırı sıcaklar)'tir. RPN sıralamasında 23. sırada yer alan FM2.5, FRPN sıralamasında 3. sıraya yükselmiştir. Aşırı sıcaklar, makine dairesinde önemli ekipman ve sistemlerin fazlasıyla ısınmasına sebep verebilir. Makine sıcaklıkları gereğinden fazla yükselirse sistemleri korumak amacıyla otomatik olarak kendini kapamaya alabilir. Örneğin, yaz dönemlerinde, Avrupa bölgesinde sefer yapan bir gemi Süveyş Kanalı'ndan geçiş yaparken, aşırı sıcaklar sebebiyle ana makinenin ısınması ve hatta deniz suyunun ısınması makinedeki birçok sistemin hata vermesine hatta çökmesine sebep olabilir.

Tüm hata türleri arasında 4. sırada yer alan FM4.1 (alçak su), 7,164 değeri ile diğerkritik hata türüdür. RPN sıralamasında 24. sırada yer alan FM4.1, FRPN sıralamasında 4. sıraya yükselmiştir. Limanda ya da şamandırada, bağlı konumda olup yanaşma/kalkma manevrası bekleyen gemilerde suyun yükselmesi halatları boş bırakıp geminin sahile çarpmasına ve tekrardan halatlara ani yük binmesine sebep olabilir. Bu durum, görevli gemi adamına ve gemiye zarar verebilir. Örneğin; gelgit olduğu Avrupa limanlarında, alçak su zamanlarında geminin draftının kurtarmaması sebebiyle yanaşma/kalkma manevraları için yüksek suyun saati beklenmektedir.

Bir sonraki kritik hata türü, FM5.2 (gemi süratinde artma/azalma), 7,082 değeri ile 5. sıradadır. RPN sıralamasında 15. sırada yer alan FM5.2, FRPN sıralamasında beşinci sıraya yükselmiştir. Gemi süratindeki artma ve azalma özellikle yanaşma/kalkma/halat/demirleme manevralarında pozisyonun kaçırılmasına, kalabalık bölgelerde başka gemiler ile çatışmasına ve makineye ani yük bindirmesine sebep olabilir. Örneğin; Dover Kanalı'nda ilerleyen bir gemiye düzenli akıntıların yanı sıra, gelgit akıntıları da etki etmekte ve gemi manevralarını zorlaştırmaktadır.

Diğer bir kritik hata türleri FM5.1 (manevraya etki) ve FM6.2 (makine dairesi ve yürütülen operasyonlar), 7,029 değeri ile 6. sıradadır. RPN sıralamasında 8. sırada yer alan FM5.1, FRPN sıralamasında 6. sıraya yükselmiştir. Yüksek akıntılı bölgelerde, gemi manevrası oldukça zor kontrol edilmektedir. Yüksek akıntının olduğu yerlerde geminin dümen dinlemesi, düşük hızlarda geminin hızının etkilenmesi sebebiyle yavaşlaması ya da hızlanması manevrada sağır bir etki oluşturur. Bu durum, manevra için tehlikeli bir ortam yaratır. İstanbul Boğazı'nda güneyden kuzeye seyir yapan bir gemi için mevsimlere ve rüzgarın durumuna göre, yaklaşık olarak 2-4 knot arası yüzey akıntıları (kuzey yönlü) mevcuttur. Bu durum, Boğaz geçişi esnasında gemiler için hız azalmasına sebep olmaktadır. Aksini düşünecek olursak, gemi kuzeyden güneye iniyorsa bu akıntıyı kışından alacak ve geminin seyri boyunca yapacağı manevrayı etkileyecektir. Aynı değere sahip FM6.2 hata türü için, makine dairesinde kritik ekipmanlar bulunmaktadır. RPN sıralamasında 8. sırada yer alan FM6.2, FRPN sıralamasında 6. sıraya yükselmiştir. Bu ekipmanlarda çıkabilecek en küçük bir hata (dümen donanımında arıza ya da makinenin kısa bir süre için bile olsa geminin sürüklenmesi gibi) çok ciddi sonuçlara sebep olabilir. Dolayısıyla makine dairesinde yürütülen operasyonların büyük bir kısmı riskli olabilir.

5.5 Risk Kontrol Seçeneklerinin Belirlenmesi

Önceliklendirilen hata türleri için oluşma sıklığına sonucunun şiddetine ve tespit edilip edilemeyeceğine bağlı olarak etkin ve uygulanabilir risk kontrol seçenekleri önerilmiştir. Düzeltici ve önleyici faaliyetler ile FRPN değerlerinin aşağıya çekilmesi amaçlanmaktadır.

Risk kontrol seçeneklerinin oluşturacağı faydalar (olası felaketlerin, potansiyel çevre kirliliğinin, vb. azaltılması gibi) ve maliyetler (eğitimler, yeni teknolojik yatırımlar, vb. gibi) belirlenmelidir. Aktarılacak kaynak, risk önceliğine göre yapılmalıdır.

Düzeltilici ve önleyici faaliyetler uygunluk ve etkinlik açısından iyi değerlendirilmelidir (Çeber, 2010). Gerektiğinden fazla yapılması gereksiz maliyet ve zaman kaybı, gerektiği kadar yapılmaması da kaza riski oluşturacaktır.

Ayrıca, potansiyel hataları ve hataların etkilerini azaltmak için HSEQ departmanları tarafından risk değerlendirme formları güncellenmeli, prosedürlerini bu kapsamda güncellemeli, değişken risklerin önemine değinen eğitimler düzenlenmeli, gemide yapılan talimlerin senaryolarına değişen koşullarla ilgili durumlar eklenmelidir. Gemilerde düzenlenen aylık emniyet toplantılarında, değişken riskler konusunun üzerinde durulmalı, gemi panolarına ve geminin uygun yerlerine uyarıcı yazı ve levhalar konulması sağlanmalıdır.

5.6 Etkin Düzenleyici ve Önleyici Faaliyetlerin Oluşturulması ve Sorumluların Belirlenmesi

Çalışmanın sonucuna göre, konu ve alan uzmanlarıyla yapılan görüşmelerden sonra, bir geminin limana yanaşması, kalkması ve liman operasyonları esnasında 8 dinamik risk faktöründen kaynaklanan 25 hata türü için dinamik risk değerlendirmesi yapılmaktadır. Gelecekte benzer eksikliklerin meydana gelmesini önlemek için en yüksek RPN değerine sahip hata türleri tartışılmaktadır. Belirlenen 25 hata türüne karşın önerilen düzeltilici ve önleyici faaliyetler havuzu EK-C, Çizelge C.1’de listelenmiştir. Bu hata türlerinin ortadan kaldırılması için kontrollerin düzenli yapılması ve uygun hareket planlarının oluşturulması gerekmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gemiler faaliyetlerini sürdürürken insan, makine ve çevre kaynaklı tehlikeler oluşabilmektedir. Bu sebeple, gemilerde her bir operasyon için risk değerlendirme formları bulunmaktadır. Ancak, bu formlarda, operasyonun doğasından kaynaklanan statik riskler dikkate alınırken dinamik riskler göz ardı edilmektedir.

Gemi operasyonlarında, önemsiz görülen riskler büyük çapta kazalara sebep olabilmektedir. Bu risklerin önceden tahmin edilerek ya da bir hataya sebep olmadan önce tespit edilerek, maddi ve manevi kayıplar oluşmadan tehlikelerin bertaraf edilmesi ve bunları kontrol eden yöntemler veya azaltıcı ve düzeltici tedbirler uygulanabilmesi bakımından büyük öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasında, gemi operasyonlarındaki dinamik risklerin oluşturacağı potansiyel tehlikelerin sistematik olarak belirlenebilmesi için Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yönteminin uygulanması amaçlanmıştır. Öncelikli olarak gemi operasyonlarını etkileyen dinamik risk faktörlerinin ölçülmesi için 55 gemi adamı ile 88 sorudan oluşan bir ön anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışmasında, dinamik risk faktörlerinin 12 temel gemi operasyonuna etkisi değerlendirilmiştir. Daha sonra, FMEA uygulaması kapsamında 7 kişiden oluşan bir uzman grup oluşturulmuştur. Beyin fırtınası yöntemi ile operasyon yapılan gemide, hangi değişkenlerin hangi potansiyel hataları oluşturacağı belirlenmiştir. Bu kapsamda, 8 dinamik risk faktörü için 25 potansiyel hata türü tespit edilmiştir. Belirlenen risk faktörlerinin sebepleri ve olası etkileri listelenmiştir.

Klasik FMEA'da risk öncelik numarası (RPN); meydana gelme, şiddet ve saptanabilirlik net değerlerinin çarpımı ile elde edilmektedir. Bununla birlikte, literatürde RPN'lerin net değerleri birçok nedenden dolayı önemli ölçüde eleştirilmiştir. Bu sebeple, FMEA yönteminde, RPN değeri hesaplamalarının oluşturduğu dezavantajların giderilmesi amacıyla FMEA yöntemine bulanık küme teorisi entegre edilmiştir. Böylelikle, FMEA'daki kriterlerin ağırlıkları için net terimler yerine dilsel terimler kullanılmıştır.

Uzmanlar, her bir risk için ortaya çıkma, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin atanmasında 0-10 değerlendirme ölçeğini kullanılmıştır. Uzmanların tüm görüşleri dilbilimsel terimlere göre toplanmıştır. Bu görüşler, bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Uzmanların O, S ve D kriterleri, Bulanık FMEA'ya göre birleştirilmiştir. Değerlendirme kriterleri ile uzmanlar arasında tutarlı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. FMEA'da hata türlerinin sıralanması için RPN değeri kullanılmaktadır. Hata türleri, en yüksek önceliğe sahip hata türünden en düşük önceliğe sahip hata türüne doğru sıralanmaktadır.

Yanaşma/kalkma/halat ve demirleme operasyonu için tehlikeler ve buna bağlı riskler uygulama çalışması olarak kabul edilmiştir. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini belirlemesi için uzman ekibin görüş ve geri bildirimleri kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

FMEA ve Bulanık FMEA ile değerlendirmesi yapılan her hata türü ait RPN ve FRPN değerleri hesaplanmış ve sonuçlara göre hata türleri önceliklendirilmiştir. RPN ve FRPN değerlerine göre yapılan risk sıralamasında çok belirgin farklılıklar olduğu görülmüştür. Sıralama düzenindeki küçük değişikliklerin, özellikle gemi operasyonları gibi emniyet açısından kritik ve karmaşık bir sistem için büyük etkileri olabilmesi açısından önemlidir. Bu farklılık, Bulanık FMEA'da oluşturulan kural yapısından kaynaklanmaktadır. Örneğin; yüksek meydana gelme olasılığı ve yüksek saptanabilirlik derecelerine sahip bir hata türü düşük şiddet değerine sahip olduğunda; Klasik FMEA önem sıralamasında üst sıralarda yer alıyorken, Bulanık FMEA'da daha alt sıralarda yer almaktadır.

Uzman değerlendirmeleri neticesinde, hem RPN hem de FRPN değerleri için ilk iki hata türünün en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bulanık FMEA uygulamasının önem sıralaması aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

- Yanaşma/kalkma/halat ve demirleme operasyonunda tespit edilen en yüksek risk değerine sahip hata türü, 8,168 puanlık FRPN değeri ile FM3.2. (yorgunluk/bireysel hata)'nin olduğu gözlemlenmiştir. Gemi ortamı ve çalışma koşullarından gemi adamları fizyolojik ve psikolojik olarak etkilenebilmektedir. Bu zorluklara çevre koşullarının eklenmesi, gemi adamlarının güvensiz davranışlarını tetikleyebilmektedir. Yetersiz talim ve eğitim koşulları, uzun çalışma saatleri de güvensiz davranışlara ve dolayısıyla

bireysel hatalara sebep olabilmektedir. Yeterli ve düzenli olarak talim yapılması ve eğitim verilmesi mürettebatta emniyet kültürünü oluşturacak ve güvensiz davranışlar üzerinde olumlu etkisi olacaktır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, felaketle sonuçlanacak hatalar oluşması muhtemeldir. Bu nedenle, bu tür risklerin önlenmesi önem arz etmektedir.

- Operasyon genelinde tespit edilen ve en yüksek ikinci FRPN değerine sahip hata türünün FM 2.7 (çok sert rüzgar) olduğu tespit edilmiştir. Bu hatanın ortadan kaldırılması veya etkisinin azaltılması amacıyla düzeltici ve önleyici faaliyetlerde önerilen eylemlerin etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir.
- FM2.5 (Aşırı sıcaklar), RPN değerine göre 23. sırada yer alırken FRPN değeri ile önem seviyesi yirmi seviye artmış ve 3 numaraya yükselmiştir. Önerilen düzeltici ve önleyici faaliyetlerin teknik ve organizasyonel seviyede önlemlerle desteklenmesi ve risklerin etkilerinin azaltılması operasyonun başarısını olumlu yönde etkileyecektir.
- FM4.1 (Alçak su)'in RPN değerine göre öncelik numarası 24 iken, FRPN değeri ile önem seviyesi yirmi seviye artmış ve 4 numaraya yükselmiştir. Operasyonun emniyetli yürütülmesinde çok önemli bir risk olarak kendini göstermiştir. Düzeltici ve önleyici faaliyetler, operasyonun emniyetini olumlu yönde etkileyecek öneme sahiptir.
- FM5.2 (Gemi süratinde artma/azalma)'nin RPN değerine göre öncelik numarası 15 iken FRPN değeri ile önem seviyesi on seviye artmış 5 numaraya yükselmiştir. Personelin bilgisi ve yeterlilik seviyesi operasyonun başarısı açısından önem arz etmektedir ve dikkat edilmesi gereken bir risk olarak ele alınması gerektiği görülmektedir.
- FM6.2 (Makine dairesi ve yürütülen operasyonlar)'nin RPN değerine göre öncelik numarası 8 iken FRPN değerine önem seviyesi iki seviye artmış ve 6 numaraya yükselmiştir. Operasyonun emniyetli yürütülmesinde, teknik bilgi yeterliliği operasyonun başarısını önemli ölçüde etkileyecektir. Yetersiz bilgi ve tecrübe, operasyonun emniyetli yürütülmesini önemli derecede etkileyebilecek bir risktir.

- FM5.1 (Akıntının manevraya etkisi)'in RPN değerine göre öncelik numarası 8 iken, FRPN değeri ile önem seviyesi iki seviye artmış ve 6 numaraya yükselmiştir. Burada, bilgi birikimi ve tecrübe ön plana çıkacaktır.

Orta düzeyde öneme sahip risklerin de dikkate alınması emniyetli operasyon için önemlidir. Bu risklerin herhangi birinin ya da birkaçının gerçekleşmesi durumunda operasyonun emniyeti yine olumsuz yönde etkilenecektir ancak etki büyüklüğü yukarıda bahsedilen diğer riskler kadar olmayacaktır. Diğer gemi operasyonları için bu risklerin sıralaması daha farklı olacaktır.

FMEA'nın denizcilik endüstrisinde uygulanması yeni değildir; bununla birlikte gemi operasyonlarını etkileyen dinamik risklerin incelenmesi açısından bu tez çalışması, ilk araştırmayı sunmaktadır. Önerilen Bulanık FMEA yöntemi ile dinamik risklerin oluşturacağı operasyonel hatalar, FRPN sayılarına dönüştürülmektedir. Bu bakımdan, bu tez çalışması ile teorik olarak literatüre katkıda bulunurken, denizcilik endüstrisine de emniyet iyileştirmesi hakkında fikir vereceği düşünülmektedir.

Bu çalışma ile gemi operasyonlarına erken uyarı sistemi sağlanabilecektir. Önceden belirlenen potansiyel hatalar, operasyonel işlemlerin daha emniyetli bir şekilde yürütülmesine yardımcı olacaktır. Gemilerde, risk değerlendirmelerinin düzenli olarak yapılması ve hata türlerinin güncelliğinin sağlanması da önemlidir. Böylelikle, risklerin dönüşmesi ve yeni risklerin ortaya çıkması gibi durumların önüne geçilebilecektir.

Risklerin önceliklendirilmesi, bu risklerin doğru yönetilebilmesi açısından önemlidir. RPN değerlerine bakılarak alınması önerilen önlemlerin uygulanması, kaynakların daha etkin kullanılabilmesine imkan sağlar. Sınırlı kaynak ve insan gücünün daha etkin yönetilmesi, yeni risklerin ortaya çıkmasını da önleyecektir. Böylece, risk kaynaklı maliyetlerin azaltılması ve sınırlı kaynak aktarımlarının daha verimli yapılması sağlanabilecektir.

Gemilerde, kazalara neden olabilecek hataların tespit edilmesi ve bu hataların ortadan kaldırılması için gerekli önlemlerin belirlenmesi ve düzenli uygulanması, gerekli talim ve eğitimlerin alınması ve bu yolla iş kazalarının azaltılması gemilerdeki emniyet ve güvenlik standardını artıracaktır. Önemli olan bir kaza yaşanmadan, gemi adamları ve mülk zarar görmeden önce potansiyel hataların tespit edilmesi ve ortadan kaldırılmasıdır.

Bu tez çalışmasında, dinamik risk faktörlerinin ve risk kriterlerinin (meydana gelme, şiddet ve saptanabilirlik) göreceli önem ağırlıklandırması yapılmamıştır. Risk kriterlerinin AHP yöntemi ile ağırlıklandırması yapılabilir. Dinamik risk faktörlerinin göreceli önem ağırlıklandırması için AHP yöntemi veya dinamik risk faktörleri arasındaki ilişkileri yakalayabilen DEMATEL yöntemi kullanılabilir. Devamında, gemilerde tüm operasyonel işlemler için bu uygulama gerçekleştirilerek yapılan tüm çalışmalar bilgisayar tabanlı yazılım haline getirilebilir ve bir karar destek sistemi oluşturulabilir. Bu sayede, kendini yenileyebilen ve proaktif bir risk değerlendirme yazılımı oluşturulabilir. Bu karar destek sistemi; tüm operasyonlarda, gemi mürettebatına, değişken koşullar dikkate alınarak stratejik karar alabilmeleri ve planlama yapabilmeleri için bilgisayar programları üzerinden yardımcı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abimbola, M., Khan, F., & Khakzad, N.** (2014). Dynamic safety risk analysis of offshore drilling. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 30, 74-85.
- Abraham, A.** (2005). *Rule-based expert systems*. In: Sydenham, P.H., Thorn, R. (Eds.), *Handbook of Measuring System Design*. John Wiley & Sons Ltd, New York.
- Acar, B.** (2007). *Risk Değerlendirmesi Temelli Yönetim Anlayışının Denizcilikte Uygulanması ve Türk Deniz Ticaret Filosunun Risk Değerlendirmesi Yöntemi ile Analizi*. (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir.
- Adachi, W., Pharm. D., Lodolce, A. E.** (2005). Use of failure mode and effects analysis in improving the safety of iv drug administration. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 62 (9), 917-920.
- Ahn, J., Noh, Y., Park, S. H., Choi, B. I., & Chang, D.** (2017). Fuzzy-based failure mode and effect analysis (FMEA) of a hybrid molten carbonate fuel cell (MCFC) and gas turbine system for marine propulsion. *Journal of Power Sources*, 364, 226-233.
- Akman, A.** (2015). *Bir Patlayıcı Madde Üretim Tesisindeki Risk Faktörlerinin Belirlenmesi ve Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Akyuz, E., Akgun, I., & Celik, M.** (2016). A fuzzy failure mode and effects approach to analyse concentrated inspection campaigns on board ships. *Maritime Policy & Management*, 43 (7), 887-908.
- Akyuz, E.** (2017). A marine accident analysing model to evaluate potential operational causes in cargo ships. *Safety science*, 92, 17-25.
- Akyuz, E., Celik, E., & Celik, M.** (2018). A practical application of human reliability assessment for operating procedures of the emergency fire pump at ship. *Ships and Offshore Structures*, 13 (2), 208-216.
- Ale, B. J. M., Baksteen, H., Bellamy, L. J., Bloemhof, A., Goossens, L., Hale, A., ... & Whiston, J. Y.** (2008). Quantifying occupational risk: The development of an occupational risk model. *Safety science*, 46 (2), 176-185.
- Alım, M., ve Gül, M.** (2013). Beyin Fırtınası Tekniğinin Coğrafi Kavramların Öğretimi ve Kalıcılığı Üzerindeki Rolü (Erzurum Örneği) The Effect of Brainstorming Technique on Instructing Geographical Concepts (Erzurum Sample). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18 (30).
- Al-Samarraie, H., & Hurmuzan, S.** (2018). A review of brainstorming techniques in higher education. *Thinking Skills and Creativity*, 27, 78-91.

- Animah, I., & Shafiee, M.** (2020). Application of risk analysis in the liquefied natural gas (LNG) sector: An overview. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 63, 103980.
- Arévalo, F., Sunaringtyas, D., Tito, C., Piolo, C., & Schwung, A.** (2020). Interactive Visual Procedure using an extended FMEA and Mixed-Reality. In *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 286-291). IEEE. Argentina: Buenos Aires Institute of Technology, February 22-28.
- Apkon, M., Leonard, J., Probst, L., DeLizio, L., & Vitale, R.** (2004). Design of a safer approach to intravenous drug infusions: failure mode effects analysis. *BMJ Quality & Safety*, 13 (4), 265-271.
- Ayodeji, Abiodun; Liu, Yong-kuo.** (2018). Support vector ensemble for incipient fault diagnosis in nuclear plant components. *Nuclear Engineering and Technology*, 50.8: 1306-1313.
- Babuška, R.** (1996). Fuzzy systems, modeling and identification. *Delft University of Technology, Department of Electrical Engineering Control Laboratory, Mekelweg, 4*.
- Badida, P., Balasubramaniam, Y., & 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.
- Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R., Pessel, N.** (2009). MARitime RISk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor. *Ocean engineering*, 36 (15-16), 1278-1286.
- Baykasoğlu, A., & Gölcük, İ.** (2020). Comprehensive fuzzy FMEA model: a case study of ERP implementation risks. *Operational Research*, 20 (2), 795-826.
- Benjamin, D. M.** (2003). Reducing medication errors and increasing patient safety: case studies in clinical pharmacology. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 43 (7), 768-783.
- Berle, Ø., Rice Jr, J. B., Asbjørnslett, B. E.** (2011). Failure modes in the maritime transportation system: a functional approach to throughput vulnerability. *Maritime Policy & Management*, 38 (6), 605-632.
- Bi, H. ve Si, H.** (2012). Dynamic risk assessment of oil spill scenario for Three Gorges Reservoir in China based on numerical simulation. First International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). *Safety science*, 50 (4), 1112-1118. Wuhan, China.
- Boone, H. N., Boone, D. A.** (2012). Analyzing likert data. *Journal of extension*, 50 (2), 1-5.
- Bonnett, A. H., & Yung, C.** (2008). Increased efficiency versus increased reliability. *IEEE Industry Applications Magazine*, 14 (1), 29-36.
- Brito, A. J., & de Almeida, A. T.** (2009). Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. *Reliability engineering & System safety*, 94 (2), 187-198.

- Brown, D. W., Kalgren, P. W., Byington, C. S., & Roemer, M. J.** (2007). Electronic prognostics—a case study using global positioning system (GPS). *Microelectronics Reliability*, 47 (12), 1874-1881.
- Burgazzi, L.** (2004). Evaluation of uncertainties related to passive systems performance. *Nuclear Engineering and Design*, 230 (1-3), 93-106.
- Capunzo, Mario, Cavallo, Pierpaolo, Boccia, Giovanni, Brunetti, Luigi, & Pizzuti, Sante** (2004). A FMEA clinical laboratory case study: how to make problems and improvements measurable. *Clinical Leadership and Management Review*, 18 (1), 37-41.
- Celik, M., & Cebi, S.** (2009). Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 41 (1), 66-75.
- Chang, C. L., Wei, C. C., & Lee, Y. H.** (1999). Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. *Kybernetes*.
- Chang, K. H., Cheng, C. H.** (2010). A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA. *International Journal of Systems Science*, 41 (12), 1457-1471.
- Chemweno, P., Pintelon, L., De Meyer, A. M., Muchiri, P. N., Van Horenbeek, A., & Wakiru, J.** (2017). A dynamic risk assessment methodology for maintenance decision support. *Quality and Reliability Engineering International*, 33 (3), 551-564.
- Chiozza, M. L., & Ponzetti, C.** (2009). FMEA: a model for reducing medical errors. *Clinica chimica acta*, 404 (1), 75-78.
- Chuang, P. T.** (2007). Combining service blueprint and FMEA for service design. *The Service Industries Journal*, 27 (2), 91-104.
- Coles, G., Fuller, B., Nordquist, K., Weissenberger, S., Anderson, L., & DuBois, B.** (2010). Three kinds of proactive risk analyses for health care. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 36 (8), 365-AP3.
- Cournoyer, M. E., Garcia, V. E., Gallegos, U. F., & Wilburn, D. W.** (2011). Investigation of injury/illness data at a nuclear facility. *Journal of Chemical Health & Safety*, 18 (5), 17-25.
- Cullum, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abbassi, R., & Garaniya, V.** (2018). Risk-Based Maintenance Scheduling with application to naval vessels and ships. *Ocean Engineering*, 148, 476-485.
- Çeber, Y.** (2010). *Hata Türleri ve Etki Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir.
- Dağ, M., Yalçın, Z. G., Öz, A., & Aydoğmuş, E.** (2018). Risk Analysis by FMEA Method in Hotel. *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, 1 (1), 63-71.
- Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A.** (2016). Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 286-294.

- Dai, H. X., Wu, Z. L.** (2017). Research on Dynamic Risk Pre-evaluation System for Maritime Traffic Safety in Restricted Visibility.
- de Aguiar, J., Scalice, R. K., & Bond, D.** (2018). Using fuzzy logic to reduce risk uncertainty in failure modes and effects analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40 (11), 516.
- Doytchev, D. E., & Szwillus, G.** (2009). Combining task analysis and fault tree analysis for accident and incident analysis: a case study from Bulgaria. *Accident Analysis & Prevention*, 41 (6), 1172-1179.
- Drucker, P. F.** (1999). *Managing for results: economic tasks and risk-taking decisions*. Routledge.
- Dubois, D., Prade, H.** (1998). An introduction to fuzzy systems. *Clinica Chimica Acta*, 270 (1), 3-29.
- Efe, B.** (2019). Analysis of operational safety risks in shipbuilding using failure mode and effect analysis approach. *Ocean Engineering*, 187, 106214.
- Eide, M. S., Endresen, Ø., Breivik, Ø., Brude, O. W., Ellingsen, I. H., Røang, K., ... & Brett, P. O.** (2007). Prevention of oil spill from shipping by modelling of dynamic risk. *Marine Pollution Bulletin*, 54 (10), 1619-1633.
- Emovon, I., Mgbemena, C. O.** (2019). Enhancing the FMEA technique using a combination of Expectation interval, TAGUCHI, MOORA and Geometric mean methods. *Journal of Engineering Research*, 7 (4).
- Fattahi, R., Khalilzadeh, M.** (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety science*, 102, 290-300.
- Feili, H. R., Akar, N., Lotfizadeh, H., Bairampour, M., & Nasiri, S.** (2013). Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. *Energy Conversion and Management*, 72, 69-76.
- Fera, M., & Macchiaroli, R.** (2010). Appraisal of a new risk assessment model for SME. *Safety science*, 48 (10), 1361-1368.
- Ferdous, R., Khan, F., Sadiq, R., Amyotte, P., & Veitch, B.** (2013). Analyzing system safety and risks under uncertainty using a bow-tie diagram: An innovative approach. *Process Safety and Environmental Protection*, 91 (1-2), 1-18.
- Figueirôa Filho, C. L. S., Suárez, D. G. F., De Assis, E. M., Lima, G. A. D. C., & Magalhães, R. D. S.** (2020). The Effect of Psychotropic Drugs as a Performance Influencing Factor on Human Reliability Assessment. *IEEE Access*, 8, 80654-80672.
- Ford, E. C., Gaudette, R., Myers, L., Vanderver, B., Engineer, L., Zellars, R., ... & DeWeese, T. L.** (2009). Evaluation of safety in a radiation oncology setting using failure mode and effects analysis. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 74 (3), 852-858.

- Fritz, G., Beroulle, V., Nguyen, M. D., & Hély, D.** (2011). RFID System On-line Testing based on the evaluation of the Tags Read-Error-Rate. *Journal of Electronic Testing*, 27 (3), 267-276.
- Gargama, H., Chaturvedi, S. K.** (2011). Criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60, 102–110.
- Gülseren, Ş., Kültür, S.** (1999). Sağlık düzeyi ölçeği'nin Türkçe'ye uyarlanması ve güvenilirliği. *Klinik Psikofarmakoloji Bülteni*, 9(2).
- Helvacioğlu, S., & Ozen, E.** (2014). Fuzzy based failure modes and effect analysis for yacht system design. *Ocean Engineering*, 79, 131-141.
- Hrbackova, L.** (2016). Risk-based thinking in the production process using the methods of quality assurance matrix and the FMEA Process. *Journal of Systems Integration*, 7 (1), 21-28.
- Huang, J., Liu, H. C., Duan, C. Y., & Song, M. S.** (2019). An improved reliability model for FMEA using probabilistic linguistic term sets and TODIM method. *Annals of Operations Research*, 1-24.
- Hu, S., Fang, Q., Xia, H., & Xi, Y.** (2007). Formal safety assessment based on relative risks model in ship navigation. *Reliability Engineering & System Safety*, 92 (3), 369-377.
- Huang, J. C., Nieh, C. Y., & Kuo, H. C.** (2019). Risk assessment of ships maneuvering in an approaching channel based on AIS data. *Ocean Engineering*, 173, 399-414.
- IMO** (1997). Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment to the IMO Rule-Making Process. IMO/MSC Circular 829.
- IMO** (2000). Resolution A.900(21) adopted on 16 November 1999. Objectives of The Organization in The 2000s. Resolution A.500(XII), A.777(18), A.900(21)
- IMO** (2002). Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in The IMO Rule-Making Process. MSC/Circ.1023/MEPC/Circ.392.
- IMO** (2005). Amendments to The Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in The IMO Rule-Making Process (MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392).
- IMO** (2006). Amendments to The Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) For Use in The IMO Rule-Making Process (MSC/Circ.1023 - MEPC/Circ.392).
- IMO** (2018). Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) For Use in the IMO Rule-Making Process. MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2.
- Jae-Ohk, L., Seung-Min, K., & Young-Soon, Y.** (2001). Quality assessment of the hatchway of a bulk carrier using QFD and FMEA. *In Safety and Reliability* (Vol. 21, No. 2, pp. 7-19). Taylor & Francis.
- Jeon, H., Park, K., & Kim, J.** (2020). Comparison and Verification of Reliability Assessment Techniques for Fuel Cell-Based Hybrid Power System for Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (2), 74.

- John, A., Paraskevadakis, D., Bury, A., Yang, Z., Riahi, R., & Wang, J.** (2014). An integrated fuzzy risk assessment for seaport operations. *Safety Science*, 68, 180-194.
- Kalantarnia, M., Khan, F., Hawboldt, K.** (2009). Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory. *J. Loss Prev. Process Ind.* 22 (5), 600–606.
- Karatepe M. N. S.** (2019). *An Intuitionistic Fuzzy Rule-Based Approach To FMEA*. (Master Science Thesis). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Kayserilioğlu, E.** (2008). *Deniz Taşımacılığı Sektör Profili*, İstanbul, s.8.
- Khan, F., Rathnayaka, S., & Ahmed, S.** (2015). Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. *Process safety and environmental protection*, 98, 116-147.
- Khan, F., Hashemi, S. J., Paltrinieri, N., Amyotte, P., Cozzani, V., & Reniers, G.** (2016). Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management. *Current opinion in chemical engineering*, 14, 9-17.
- Khasha, R., Sepehri, M. M., & Khatibi, T.** (2013). A fuzzy FMEA approach to prioritizing surgical cancellation factors. *International Journal of Hospital Research*, 2 (1), 17–24.
- Kim, K., Kang, H., & Kim, Y.** (2015). Risk assessment for natural gas hydrate carriers: A hazard identification (HAZID) study. *Energies*, 8 (4), 3142-3164.
- Kim, J., Miller, B., Siddiqui, M. S., Movsas, B., & Glide-Hurst, C.** (2019). FMEA of MR-only treatment planning in the pelvis. *Advances in radiation oncology*, 4 (1), 168-176.
- Kishore, E. A. & SMDR, I. V.** (2013). Formal Safety Assessment in Maritime Industry-Explanation to IMO Guidelines.
- Korçak, M.** (2015). *İstanbul Boğazı'nda Kimyasalların Deniz Yolu ile Taşınması Sırasında Meydana Gelen Kazaların Yöntemi.*” (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Koushkaki, H. R., Nasrabadi, M., & Almassi, Z.** (2014). HSE Quality System Integration by Identifying and Prioritizing Risks Using Fuzzy FMEA Technique and FAHP (Case Study: Bandar Abbas Oil Refinery, Bandar Abbas, Iran).
- Kubat, C.** (2013). *MATLAB: yapay zekâ ve mühendislik uygulamaları*. Pusula Yayıncılık.
- Kumru, M., & Kumru, P. Y.** (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing*, 13 (1), 721-733.
- Kuleyin, B., & Asyali, E.** (2007). Limanlarda Gemi Kaynaklı Çevresel Risk Değerlendirmesi ve Yönetimi: Aliğa Limanı Uygulaması.

- Kutlu, A. C., & Ekmekçioğlu, M.** (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39 (1), 61-67.
- Lavasani, S. M., Yang, Z., Finlay, J., & Wang, J.** (2011). Fuzzy risk assessment of oil and gas offshore wells. *Process Safety and Environmental Protection*, 89 (5), 277-294.
- Lee, B. H.** (2001, January). Using Bayes belief networks in industrial FMEA modeling and analysis. In *Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2001 Proceedings. International Symposium on Product Quality and Integrity (Cat. No. 01CH37179)* (pp. 7-15). IEEE. January 22-25.
- Leimeister, M., & Kolios, A.** (2018). A review of reliability-based methods for risk analysis and their application in the offshore wind industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1065-1076.
- Leoni, L., BahooToroody, A., De Carlo, F., & Paltrinieri, N.** (2019). Developing a risk-based maintenance model for a Natural Gas Regulating and Metering Station using Bayesian Network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 57, 17-24.
- Leoni, L., BahooToroody, A., Abaei, M. M., De Carlo, F., Paltrinieri, N., & Sgarbossa, F.** (2020). On hierarchical bayesian based predictive maintenance of autonomous natural gas regulating operations. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 115-124.
- Li, X., Chen, G., Chang, Y., & Xu, C.** (2019). Risk-based operation safety analysis during maintenance activities of subsea pipelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 247-262.
- Li, X., & Tang, W.** (2019). Structural risk analysis model of damaged membrane LNG carriers after grounding based on Bayesian belief networks. *Ocean Engineering*, 171, 332-344.
- Li, W., Cao, Q., He, M., & Sun, Y.** (2018). Industrial non-routine operation process risk assessment using job safety analysis (JSA) and a revised Petri net. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 533-538.
- Lin, Q. L., Wang, D. J., Lin, W. G., & Liu, H. C.** (2014). Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory. *Safety science*, 62, 248-256.
- Liu, S. and Lin, Y.** (2010). *Grey Systems: Theory and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 10.1007/978-3-642-16158-2.
- Liu, H.C., Liu, L., Bian, Q.H., Lin, Q.L., Dong, N., Xu, P.C.,** (2011). Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and gray theory. *Expert Syst. Appl.* 38 (4), 4403–4415.
- Liu, H.C., Liu, L., Li, P.,** (2014). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid weighted Euclidean distance operator. *Inter. J. Syst. Sci.* 45 (10), 2012–2030.
- Liu, H. C., You, X. Y., Tsung, F., & Ji, P.** (2018). An improved approach for failure mode and effect analysis involving large group of experts: an application to the healthcare field. *Quality Engineering*, 30 (4), 762-775.

- Liu, H. C., Wang, L. E., Li, Z., & Hu, Y. P.** (2018). Improving risk evaluation in FMEA with cloud model and hierarchical TOPSIS method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27 (1), 84-95.
- Mamdani, E.H., Assilian, S.,** (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int. J. Man-machine Stud.* 7 (1), 1–13.
- Mamdani, E. H.** (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE transactions on computers*, (12), 1182-1191.
- Mandal, S., & Maiti, J.** (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, 41 (7), 3527-3537.
- Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D., & Gemeni, V.** (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24 (5), 477-523.
- Mariajayaprakash, A., & Senthilvelan, T.** (2013). Failure detection and optimization of sugar mill boiler using FMEA and Taguchi method. *Engineering Failure Analysis*, 30, 17-26.
- Martins, M. R., Schleder, A. M., & Droguett, E. L.** (2014). A methodology for risk analysis based on hybrid bayesian networks: application to the regasification system of liquefied natural gas onboard a floating storage and regasification unit. *Risk analysis*, 34 (12), 2098-2120.
- Maulana, M. A., & Kurniawan, F.** (2020). Operational Risk Assessment Of Ship To Ship Transfer In The FSRU Lampung Using Risk Matrix Method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 557, No. 1, p. 012035). IOP Publishing. Indonesia, July 18.
- Mendel, J. M.** (1995). Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83 (3), 345-377.
- MEPC, M.** (1997). *Interim guidelines for the application of formal safety assessment (FSA) to the IMO rulemaking processes*. Technical Report MEPC/Circ. 335, International Maritime Organization, London.
- Mete, S.** (2019). Assessing occupational risks in pipeline construction using FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under Pythagorean fuzzy environment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25 (7), 1645-1660.
- Muradi, M., & Mutmainnah, W.** (2020). Passenger Ship Evacuation Analysis with Fire Risk Assessment Approach Using NFPA 551. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 557, No. 1, p. 012043). IOP Publishing. Indonesia, July 18.
- Necci, A., Cozzani, V., Spadoni, G., & Khan, F.** (2015). Assessment of domino effect: State of the art and research Needs. *Reliability Engineering & System Safety*, 143, 3-18.
- Nikolić, D. M., Jednak, S., Benković, S., & Poznanić, V.** (2011). Project finance risk evaluation of the Electric power industry of Serbia. *Energy Policy*, 39 (10), 6168-6177.

- Ochiai, S., Makita, T., Sanjo, T., Sato, K., & Katagiri, M.** (2005). Quantitative risk evaluations of LNG equipment applying ASME risk-based maintenance concepts. *Process safety progress*, 24 (3), 187-191.
- Orouei, M., & Jahan, A.** (2017). Risk Assessment in Failure Mode & Effects Analysis (FMEA) with TOPSIS in a Fuzzy Environment. *International Journal of Economic Perspectives*, 11 (1).
- Qiu, Z., Liang, W., & Zhang, L.** (2018). Tracing and prediction analysis of an urban pipeline leakage accident based on the catastrophe DBN model. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 57, 339-348.
- Qiu, S., Sallak, M., Schön, W., & Ming, H. X.** (2018). A valuation-based system approach for risk assessment of belief rule-based expert systems. *Information Sciences*, 466, 323-336.
- Özveri, O., & Kabak, M.** (2015). The Usage of MCDM Techniques in Failure Mode and Effect Analysis. *Journal of Economics and Management Research*, 4 (2), p94-108.
- Öztemel, E.** (2006). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık.
- Pak, J. Y., Yeo, G. T., Oh, S. W. & Yang, Z.** (2015). Port safety evaluation from a captain's perspective: The Korean experience. *Safety science*, 72, 172-181.
- Paltrinieri, N., Khan, F.,** (2016). Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry: Evolution and Interaction with Parallel Disciplines in the Perspective of Industrial Application. *Elsevier Science*.
- Paltrinieri, N., Comfort, L., & Reniers, G.** (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment. *Safety science*, 118, 475-486.
- Pandya, D., Podofilini, L., Emert, F., Lomax, A. J., Dang, V. N., & Sansavini, G.** (2020). Quantification of a human reliability analysis method for radiotherapy applications based on expert judgment aggregation. *Reliability Engineering & System Safety*, 194, 106489.
- Pasman, H. J., & Rogers, W. J.** (2012). Risk assessment by means of Bayesian networks: A comparative study of compressed and liquefied H2 transportation and tank station risks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (22), 17415-17425.
- Patrucco, M., Bersano, D., Cigna, C., & Fissore, F.** (2010). Computer image generation for job simulation: An effective approach to occupational Risk Analysis. *Safety science*, 48 (4), 508-516.
- Pedrycz, W., Ekel, P., & Parreiras, R.** (2011). *Fuzzy multicriteria decision-making: models, methods and applications*. John Wiley & Sons.
- Pillay, A., & Wang, J.** (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79 (1), 69-85.
- Piniella, F., & Fernández-Engo, M. A.** (2009). Towards system for the management of safety on board artisanal fishing vessels: Proposal for check-lists and their application. *Safety science*, 47 (2), 265-276.

- Pinto, A., Nunes, I. L., & Ribeiro, R. A.** (2010). Qualitative model for risk assessment in construction industry: a fuzzy logic approach. In *Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems* (pp. 105-111). Springer, Berlin, Heidelberg. February 22-24.
- Potter, J.** (2011). Green Fuel Production: The Risks of Backyard Biodiesel. *Cogeneration and Distributed Generation Journal*, 26 (1), 53-77.
- Psaraftis, Harilaos N.** (2012). Formal Safety Assessment: an updated review. *Journal of Marine Science and Technology*, 17.3: 390-402.
- Rafie, M., & Namin, F. S.** (2015). Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (4), 655-663.
- Ren, Y., Mou, J., Yan, Q., & Zhang, F.** (2011). Study on assessing dynamic risk of ship collision. In *ICTIS 2011: Multimodal Approach to Sustained Transportation System Development: Information, Technology, Implementation* (pp. 2751-2757).
- Renjith, V. R., Kumar, P. H., & Madhavan, D.** (2018). Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. *Journal of loss prevention in the process industries*, 56, 537-547.
- Rokseth, B., & Utne, I. B.** (2015). Dynamic risk assessment of marine systems. In *Proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference, ESREL* (pp. 725-733). Zurich, Switzerland. September 07-10.
- Ronza, A., Félez, S., Darbra, R. M., Carol, S., Vilchez, J. A., & Casal, J.** (2003). Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis. *Journal of loss prevention in the process industries*, 16 (6), 551-560.
- Ross, T.J.,** (2009). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Rouquette, A., & Falissard, B.** (2011). Sample size requirements for the internal validation of psychiatric scales. *International journal of methods in psychiatric research*, 20 (4), 235-249.
- Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., & Baum, H.** (2010). Construction job safety analysis. *Safety science*, 48 (4), 491-498.
- Rudenko, E., Panaitescu, F. V., & Panaitescu, M.** (2015). Risk assessment techniques with applicability in marine engineering. *MS&E*, 95 (1), 012074.
- Sahin, B., Kum, S.** (2015). Risk assessment of Arctic navigation by using improved fuzzy-AHP approach. *International Journal of Maritime Engineering*, 157 (4), 241.
- Salokolaei, D. D., & Esmaili, S. M.** (2019). A Hybrid Approach Based on AHP and FMEA Approaches for Risk Assessment of Refinery Construction Projects. *World*, 8 (4), 35-41.

- Sarkar, D., & Singh, M.** (2020). Risk analysis by integrated fuzzy expected value method and fuzzy failure mode and effect analysis for an elevated metro rail project of Ahmedabad, India. *International Journal of Construction Management*, 1-12.
- Sayareh, J., & Ahouei, V. R.** (2013). Failure mode and effects analysis (FMEA) for reducing the delays of cargo handling operations in marine bulk terminals. *Journal of Maritime Research*, 10 (2), 43-50.
- Sayers, P., Lamb, R., Panzeri, M., Bowman, H., Hall, J., Horritt, M., & Penning-Rowell, E.** (2016). Believe it or not? The challenge of validating large scale probabilistic risk models. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 7, p. 11004). EDP Sciences. Lyon.
- Sayyadi Tooranloo, H., & Ayatollah, A. S.** (2016). A model for failure mode and effects analysis based on intuitionistic fuzzy approach. *Applied Soft Computing Journal*, 49, 238–247.
- Sayyadi Tooranloo, H., Ayatollah, A. S., & Alboghobish, S.** (2018). Evaluating knowledge management failure factors using intuitionistic fuzzy FMEA approach. *Knowledge and Information Systems*, 57 (1), 1–23.
- Shafiee, M., & Dinmohammadi, F.** (2014). An FMEA-based risk assessment approach for wind turbine systems: a comparative study of onshore and offshore. *Energies*, 7 (2), 619-642.
- Shafiee, M., Enjema, E., & Kolios, A.** (2019). An integrated FTA-FMEA model for risk analysis of engineering systems: a case study of subsea blowout preventers. *Applied Sciences*, 9 (6), 1192.
- Sharma, R. K., & Sharma, P.** (2010). System failure behavior and maintenance decision making using, RCA, FMEA and FM. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Shafiee, M., & Animah, I.** (2020). An integrated FMEA and MCDA based risk management approach to support life extension of subsea facilities in high-pressure–high-temperature (HPHT) conditions. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 1-16.
- Silva, M. M., de Gusmão, A. P. H., Poletto, T., e Silva, L. C., & Costa, A. P. C. S.** (2014). A multidimensional approach to information security risk management using FMEA and fuzzy theory. *International Journal of Information Management*, 34 (6), 733-740.
- Sivanandam, S. N., S. Sumathi, and S. N. Deepa.** (2007). *Introduction to Fuzzy Logic Using Matlab* (Vol. 1). Berlin: Springer.
- Soares, CG., Teixeira, AP.** (2001). Risk assessment in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety*, 74.3: 299-309.
- Soman, R. R., Davidson, E. M., & McArthur, S. D. J.** (2009). Using functional failure mode and effects analysis to design the monitoring and diagnostics architecture for the zonal MVDC shipboard power system. In *2009 IEEE Electric Ship Technologies Symposium* (pp. 123-128). IEEE.
- Stamatis, D. H.** (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Quality Press.

- Sultana, S., Okoh, P., Haugen, S., & Vinnem, J. E. (2019).** Hazard analysis: Application of STPA to ship-to-ship transfer of LNG. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 60, 241-252.
- Suter II, G. W. (1992).** *Ecological risk assessment*. CRC press.
- Şenel, M., Şenel, B., & Havle, C. A. (2018).** Risk analysis of ports in Maritime Industry in Turkey using FMEA based intuitionistic Fuzzy TOPSIS Approach. *In ITM Web of Conferences* (Vol. 22, p. 01018). EDP Sciences. Girne.
- Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006).** Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D. (2002).** Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 15 (4), 291-303.
- Tsai, S. B., Zhou, J., Gao, Y., Wang, J., Li, G., Zheng, Y., ... & Xu, W. (2017).** Combining FMEA with DEMATEL models to solve production process problems. *PloS one*, 12 (8).
- Tsuru, D., Enoda, M., & Akiba, M. (2008).** Recent progress in safety assessments of Japanese water-cooled solid breeder test blanket module. *Fusion Engineering and Design*, 83 (10-12), 1747-1752.
- Tsuru, D., Tanigawa, H., Hirose, T., Mohri, K., Seki, Y., Enoda, M., ... & Akiba, M. (2009).** Achievements in the development of the water cooled solid breeder test blanket module of Japan to the milestones for installation in ITER. *Nuclear fusion*, 49 (6), 065024.
- Türedi, H., Zor, Ü., & Gürbüz, F. (2015).** *Risk Odaklı İç Denetim*. Journal of Accounting & Finance.
- UNCTAD (2019).** UNCTAD/RMT/2019. *The Review of Maritime Transport 2019*. Available at https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf. Accessed 05 February 2020.
- Varzakas, T. H., & Arvanitoyannis, I. S. (2007).** Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), cause and effect analysis, and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a corn curl manufacturing plant. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47 (4), 363-387.
- Ventikos, N. P., & Psaraftis, H. N. (2004).** Spill accident modeling: a critical survey of the event-decision network in the context of IMO's formal safety assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 107 (1-2), 59-66.
- Veritas, N. (2003).** *Risk management in marine-and subsea operations*. Høvik: Det Norske Veritas.
- Villa V., Paltrinieri N., Khan F., Cozzani V. (2016).** Towards dynamic risk analysis: a review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry. *Safety Science*, 89, 77-93.

- Vinnem, J. E., Bye, R., Gran, B. A., Kongsvik, T., Nyheim, O. M., Okstad, E. H., ... & Vatn, J. (2012). Risk modelling of maintenance work on major process equipment on offshore petroleum installations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25 (2), 274-292.
- Wan, C., Yan, X., Zhang, D., Qu, Z., & Yang, Z. (2019). An advanced fuzzy Bayesian-based FMEA approach for assessing maritime supply chain risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 222-240.
- Wang, J. (2002). Offshore safety case approach and formal safety assessment of ships. *Journal of safety research*, 33 (1), 81-115.
- Wang, W., Liu, X., Qin, J., & Liu, S. (2019). An extended generalized TODIM for risk evaluation and prioritization of failure modes considering risk indicators interaction. *IIE Transactions*, 51 (11), 1236-1250.
- Wang, Y.-M., Chin, K.-S., Poon Gary Ka, K., & Yang, J.-B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207.
- Watanabe, A., Ohara, A., & Tajima, N. (2002). Basic analysis on severe accidents for chemical PCB detoxification plant using the UV/catalyst method. *Journal of chemical engineering of Japan*, 35 (8), 729-736.
- Wu, Q., Wang, T., Diaconeasa, M. A., Mosleh, A., & Wang, Y. (2020). A Comparative Assessment of Collision Risk of Manned and Unmanned Vessels. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (11), 852.
- Wu, D., & Zheng, W. (2018). Formal model-based quantitative safety analysis using timed Coloured Petri Nets. *Reliability Engineering & System Safety*, 176, 62-79.
- Yan, X. P., Wan, C. P., Zhang, D., & Yang, Z. L. (2017). Safety management of waterway congestions under dynamic risk conditions—A case study of the Yangtze River. *Applied Soft Computing*, 59, 115-128.
- Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster–Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18 (8), 2084-2092.
- Yang, M., Khan, F. I., & Lye, L. (2013). Precursor-based hierarchical Bayesian approach for rare event frequency estimation: a case of oil spill accidents. *Process safety and environmental protection*, 91 (5), 333-342.
- Yang, Z., & Wang, J. (2015). Use of fuzzy risk assessment in FMEA of offshore engineering systems. *Ocean Engineering*, 95, 195-204.
- Yazdi, M., Daneshvar, S., & Setareh, H. (2017). An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety science*, 98, 113-123.
- Yazdi, M. (2019). Improving failure mode and effect analysis (FMEA) with consideration of uncertainty handling as an interactive approach. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13 (2), 441-458.

- Yeo, C., Bhandari, J., Abbassi, R., Garaniya, V., Chai, S., & Shomali, B. (2016).** Dynamic risk analysis of offloading process in floating liquefied natural gas (FLNG) platform using Bayesian Network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41, 259-269.
- Yuhua, D., & Datao, Y. (2005).** Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. *Journal of loss prevention in the process industries*, 18 (2), 83-88.
- Zadeh, L. A. (1965).** Fuzzy sets. *Information and control*, 8 (3), 338-353.
- Zaman, M. B., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., Khanfir, S., Pitana, T., & Maimun, A. (2014).** Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data. *Journal of Simulation*, 8 (1), 91-104.
- Zhang, L., Wu, S., Zheng, W. & Fan, J. (2018).** A dynamic and quantitative risk assessment method with uncertainties for offshore managed pressure drilling phases. *Safety science*, 104, 39-54.
- Zhao, S., Soares, C. G., & Zhu, H. (2015, June).** A Bayesian network modelling and risk analysis on LNG carrier anchoring system. In *2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)* (pp. 432-436). IEEE. China: Wuhan University of Technology, June 25-28.
- Zheng, W., Shuai, J., & Shan, K. (2017).** The energy source based job safety analysis and application in the project. *Safety science*, 93, 9-15.
- Zimmermann, H. J. (2001).** *Fuzzy data analysis. In Fuzzy Set Theory—and Its Applications* (pp. 277-328). Springer, Dordrecht.

EKLER

EK A.1 : Statik risk değerlendirme formu örneği

EK B.1 : EğER öncülü İSE sonucu listesi

EK C.1 : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu



EK A : Statik risk değerlendirme formu örneği

RISK ASSESSMENT/ RISK DEĞERLENDİRMESİ (Safety Management Manual 9.8.4)										Form : 6201	Date : 1.03.2011	Revision : 1	Page : 1
Vessel Name:										Date :			
Description: Mooring & Unmooring Operations										Risk Assessment Number: 2			
Department: Deck ☒ Engine ☒ Catering ☐ Company ☐													
Hazard	Consequence	Severity	Likelihood	Initial Risk	Control Measures	Reduced Severity	Reduced Likelihood	Final Risk	Factor	Reference Publications / Comments			
Parted ropes/wires/wear and tear	Parted ropes/wires can cause a Fatality/serious injury to persons participating in mooring operations/standing in "snap back" zones.	3	2	26	SMS Manual Part 6 Resources and Personnel Sec. 6.5.10.6 Safe Mooring / (Safe Mooring) Part7Shipboard Operations , 7.1.5 Preparing for Arrival in Port "Personal Safety during Mooring and Towing" Vessel Emerg.Towing Manual,Cargo Operational Manual - 4 Part 112.4.6 Tanker Moorings. All mooring ropes/wires should be regularly inspected as per SMS Form 3409 Mooring ropes condition check list.3410 wires condition check list.3413 WINCH BRAKE HOLDING CAPACITY TEST REPORT for defects. Any defects found should be corrected ASAP.All persons have to keep clear and opposite on ropes ,watch over theirself and monitoring duty officer during mooring and unmooring. In additional of these manual of the ISGOTT ,TankerSafety Guide,Emergency Guidelnes and Code of Safe Working Practices for Merchant Semans should be strictly followed by all personnel involved in during mooring and unmooring operations	3	1	3		ISGOTT 11.9 Ship's Moorings "23 MOORING and OCIMF publication 'Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands' "Code of Safe Working Practice for Merchant Seamen" Ch.25 Anchoring, mooring and towing operations.Tanker SafetyGuide Ch.2 General Precautions Sec. 2.3 Moorings			
Mechanical hazards from Plant and deck	Can cause an injury to persons participating in mooring operations	2	2	4	Company SMS Manual Part 6 Resources and Personnel Sec. 6.5.10.6 Safe Mooring / (Safe Mooring) Part7Shipboard Operations , 7.1.5 Preparing for Arrival in Port "Personal Safety during Mooring and Towing" Vessel Emerg.Towing Manual,Cargo Operational Manual -4 Part 12 Cargo Deck Watch 12.4.6 Tanker Moorings. In additional of these manual of the ISGOTT ,Tanker Safety Guide, Emergency Guidelnes and Code of Safe Working Practices for Merchant Semans should be strictly followed by all personnel involved in during mooring and unmooring operations All persons have to keep clear and opposite from ropes ,watch over theirself and monitoring duty officer during mooring and unmooring.Constant Monitoring is required.	2	1	2		ISGOTT 11.9 Ship's Moorings "23 MOORING and OCIMF publication 'Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands' "Code of Safe Working Practice for Merchant Seamen" Ch.25 Anchoring, mooring and towing operations.Tanker SafetyGuide Ch.2 General Precautions Sec. 2.3 Moorings			
Safe position to stand on the maneuvering area	Can cause an injury	3	2	6	Company SMS Manual Part 6 Resources and Personnel Sec. 6.5.10.6 Safe Mooring / (Safe Mooring) Part7Shipboard Operations, 7.1.5 Preparing for Arrival in Port "Personal Safety during Mooring and Towing" Vessel Emerg.Towing Manual,Cargo Operational Manual -4 Part 12 Cargo Deck Watch 12.4.6 Tanker Moorings.Operational Manual 3- Navigation Part3-Bridge, Procedures.3.7 Maneuvering Procedures. 3.7.1Maneuvering Stations.In additional of these manual of the ISGOTT, Tanker Safety Guide,EmergencyGuidelnes and Code of Safe Working Practices for Merchant Semans should be strictly followed by all personnel involved in during mooring and unmooring operations. All persons have to keep clear and opposite fom ropes ,watch over theirself and monitoring duty officer during mooring and unmooring.	2	1	2		ISGOTT ISGOTT 11.9 Ship's Moorings "23 MOORING and OCIMF publication 'Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands' "Code of Safe Working Practice for Merchant Seamen" Ch.25 Anchoring, mooring and towing operations.Tanker SafetyGuide Ch.2 General Precautions Sec. 2.3 Moorings			

Şekil A.1 : Statik risk değerlendirme formu örneği.

RISK ASSESSMENT/ RISK DEĞERLENDİRMESİ (Safety Management Manual 9.8.4)										Form : 6201 Date : 1.03.2011 Revision : 1 Page : 1
Vessel Name:										Date :
Description: Mooring & Unmooring Operations										Risk Assessment Number: 2
Department: Deck ☒ Engine ☒ Catering ☐ Company ☐										
Hazard	Consequence	Severity	Likelihood	Initial Risk	Control Measures	Reduced Severity	Reduced Likelihood	Final Risk	Reference Publications / Comments	
Slips/Falls on the Level	Slips/Falls can cause Serious Injury	3	3	9	Company SMS Manual Part 6 Resources and Personnel Sec. 6.5.10.6 Safe Mooring / (Safe Mooring) Part7Shipboard Operations , 7.1.5 Preparing for Arrival in Port "Personal Safety during Mooring and Towing" Vessel Emerg.Towing Manual, Cargo Operational Manual Part 12.4.6 Tanker Moorings. In additional of these manual of the ISGOTT ,Tanker Safety Guide, Emergency Guidelnes and Code of Safe Working Practices for Merchant Semans should be strictly followed by all personnel involved in during mooring and unmooring operations. Anti-slip surface to be provided. Whole working area to be adequately lit during periods of darkness. Working areas should be keep clear everytime.	3	1	3	ISGOTT ISGOTT 11.9 Ship's Moorings "23 MOORING and OCIMF publication 'Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands' "Code of Safe Working Practice for Merchant Seamen" Ch.25 Anchoring, mooring and towing operations.Tanker SafetyGuide Ch.2 General Precautions Sec. 2.3 Moorings	
Inadequate communication with Bridge and Shore or tug boat.Vessel may bump to berth and may occure damage	Operational& Financial Loss	3	2	6	Company SMS Manual Part 6 Resources and Personnel Sec. 6.5.10.6 Safe Mooring / (Safe Mooring) Part7Shipboard Operations , 7.1.5 Preparing for Arrival in Port "Personal Safety during Mooring and Towing" Vessel Emerg.Towing Manual,Cargo Operational Manual Part 12.4.6 Tanker Moorings. In additional of these manual of the ISGOTT ,TankerSafety Guide,EmergencyGuidelnes and Code of Safe Working Practices for Merchant Semans should be strictly followed by all personnel involved in during mooring and unmooring operations.-Effective communication should be provide with Bridge/ECR and Shore or /and tug boat,mooring boat as requiremet Bridge Procedures Part A communications.Master should be very well ship's inertia factor and her maneuvering characteristic .-Master should be ask from the pilot berthing information before berthing.	3	1	3	ISGOTT ISGOTT 11.9 Ship's Moorings "23 MOORING and Bridge Procedures Part A communications	
Safe speed for to berth and standby equipments.Vessel may bump to berth and may occure dammage	Operational& Financial Loss	2	2	4	SMS Manual Part 7 Shipboard Operations , 7.1.5 Preparing for Arrival in Port. Operational Manual 3- Navigation Part 2-Bridge Organisation Part3-Bridge Procedures 3.7Maneuvering Procedures 3.7.1Maneuvering Stations 3.7.2 Maneuvering on Bridge Control of Main Engine 3.8 Berthing.3.13.2 Safe Speed 4103-Preparation for arrival in port, 4112-Master pilot information check list, 4113-Pilot card, 4506-Preparation for arrival departure in port. Posters 02- SQUAT -Effective communication should be provide with Bridge/ECR and Shore or /and tug boat,mooring boat.Master should be very well ship's inertia factor and her maneuvering characteristic .-Master should be ask from the pilot berthing information before berthing.-Both anchor and mooring equipments should be standby for use.-Master should be arrange safey speed and safey distance from the berth.-Master should be consider pilot information about berthing and geography and current information for maneuvering but Pilot is only adviser Master is responsible and command for his vessel.	2	1	2	ISGOTT 11.9 Ship's Moorings "23 Mooring and OCIMF publication 'Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands' "Code of Safe Working Practice for Merchant Seamen" Ch.25 Anchoring, mooring and towing operations	
Additional measurement/Ek Ölneimler(Değişen durumlarda ve teberübelerinizi ek önlneimler bölümüne yazınız)										

Şekil A.1 (devam) : Statik risk değerlendirme formu örneği.

RISK ASSESSMENT/ RISK DEĞERLENDİRMESİ (Safety Management Manual 9.8.4)										Form : 6201 Date : 1.03.2011 Revision : 1 Page : 1			
Vessel Name: _____										Date : _____			
Description: Mooring & Unmooring Operations										Risk Assessment Number: 2			
Department: Deck ☒ Engine ☒ Catering ☐ Company ☐													
Hazard	Consequence	Severity	Likelihood	Initial Risk	Control Measures					Reduced Severity	Reduced Likelihood	Final Risk Factor	Reference Publications / Comments
RISK MATRIX		Consequence				INCREASING PROBABILITY (LIKELIHOOD)					RISK RATING	ACTION TO BE TAKEN	
Severity & Consequences	People	Assest	Operational & Financial Loss	Environment	Reputation	Not Credible (1)	Unlikely (2)	Possible (3)	Likely (4)	Probable (5)			
1 - Negligible: Injury is not credible	Injury is not credible (First Aid Case)	Less than 1,000\$	No Missed Voyage	Loss of Containment <1Bbl not on deck or to environment	Zero Impact	1	2	3	4	5	1, 2, 3, 4, 5, 6	TOLERABLE: No additional controls are necessary; risk is already As Low As Reasonably Practicable (ALARP). Monitoring required to ensure that the	
2 - Minor: Only a minor injury is credible	Only a minor injury is credible (Med. Treatment Injury)	Less than 10,000\$ but greater than 1,000\$	<10K\$ Additional Work No Missed Voyage	Environmental impact not existent	Limited Impact	2	4	6	8	10		8, 9, 10, 12	MODERATE & SUBSTANTIAL: Efforts should be made to further reduce risks wherever possible before work starts. Where consequences are extremely harmful, further assessments may be necessary to establish more precisely the likelihood of harm as a basis for determining the need for improved control measures.
3 - Significant: A single serious injury is credible	A single serious injury is credible (Restricted Work)	Greater Than 10,000\$ but less than	Longer operational – Financial Loss	Local environmental impact	Considerable Impact	3	6	9	12	15			
4 - Critical: Fatality / Multiple serious injury is credible	Fatality / Multiple serious injury is credible (Serious Day Away) From Work Case (DAFWC))	Vessel Disabled or >= 100,000\$	Major operational – Financial Loss (100K\$-1M\$) Missed Voyages	Regional environmental impact	Major National Impact	4	8	12	16	20	15, 16, 20, 25	INTOLERABLE : Work must not be started until the risk has been reduced. Where risks involves work in progress, urgent actions should be taken	
5 - Catastrophic: Multiple fatality is credible	Multiple fatality is credible (Fatality)	Explosion / Collision/ Grounding or damage greater than 100,000\$	(>1M)	Major spill >=100Bbls or uncontrolled gas release >10 tonnes or volumetric	Major International Impact	5	10	15	20	25			

Şekil A.1 (devam) : Statik risk değerlendirme formu örneği.

EK B : EĞER öncülü İSE sonucu listesi**Çizelge B.1 : EĞER öncülü İSE sonucu listesi.**

Kural No	Öncül			Sonuç
	Meydana gelme	Şiddet	Saptanabilirlik	Risk
1	Küçük	Neredeyse yok	Neredeyse kesin	Yok
2	Küçük	Neredeyse yok	Yüksek	Yok
3	Küçük	Neredeyse yok	Orta	Çok Düşük
4	Küçük	Neredeyse yok	Düşük	Düşük
5	Küçük	Neredeyse yok	Çok Düşük	Düşük
6	Küçük	Düşük	Neredeyse kesin	Çok Düşük
7	Küçük	Düşük	Yüksek	Düşük
8	Küçük	Düşük	Orta	Düşük
9	Küçük	Düşük	Düşük	Yüksek Düşük
10	Küçük	Düşük	Çok Düşük	Düşük Orta
11	Küçük	Orta	Neredeyse kesin	Çok Düşük
12	Küçük	Orta	Yüksek	Düşük
13	Küçük	Orta	Orta	Düşük
14	Küçük	Orta	Düşük	Yüksek Düşük
15	Küçük	Orta	Çok Düşük	Yüksek Düşük
16	Küçük	Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük
17	Küçük	Yüksek	Yüksek	Yüksek Düşük
18	Küçük	Yüksek	Orta	Düşük Orta
19	Küçük	Yüksek	Düşük	Orta
20	Küçük	Yüksek	Çok Düşük	Yüksek Orta
21	Küçük	Çok Yüksek	Neredeyse kesin	Yüksek Düşük
22	Küçük	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük Orta
23	Küçük	Çok Yüksek	Orta	Orta
24	Küçük	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek Orta
25	Küçük	Çok Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
26	Düşük	Neredeyse yok	Neredeyse kesin	Yok
27	Düşük	Neredeyse yok	Yüksek	Yok
28	Düşük	Neredeyse yok	Orta	Çok Düşük
29	Düşük	Neredeyse yok	Düşük	Düşük
30	Düşük	Neredeyse yok	Çok Düşük	Düşük
31	Düşük	Düşük	Neredeyse kesin	Çok Düşük
32	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük
33	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek Düşük
34	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük Orta
35	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Orta
36	Düşük	Orta	Neredeyse kesin	Yüksek Düşük
37	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük Orta
38	Düşük	Orta	Orta	Orta

Çizelge B.1 (devam) : EĞER öncülü İSE sonucu listesi.

Kural No	Öncül			Sonuç
	Meydana gelme	Şiddet	Saptanabilirlik	Risk
39	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek Orta
40	Düşük	Orta	Çok Düşük	Düşük Yüksek
41	Düşük	Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük Orta
42	Düşük	Yüksek	Yüksek	Orta
43	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek Orta
44	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük Yüksek
45	Düşük	Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
46	Düşük	Çok Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük Orta
47	Düşük	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük Orta
48	Düşük	Çok Yüksek	Orta	Orta
49	Düşük	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek
50	Düşük	Çok Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
51	Orta	Neredeyse yok	Neredeyse kesin	Çok Düşük
52	Orta	Neredeyse yok	Yüksek	Çok Düşük
53	Orta	Neredeyse yok	Orta	Düşük
54	Orta	Neredeyse yok	Düşük	Yüksek Düşük
55	Orta	Neredeyse yok	Çok Düşük	Düşük Orta
56	Orta	Düşük	Neredeyse kesin	Düşük
57	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek Düşük
58	Orta	Düşük	Orta	Düşük Orta
59	Orta	Düşük	Düşük	Orta
60	Orta	Düşük	Çok Düşük	Yüksek Orta
61	Orta	Orta	Neredeyse kesin	Düşük Orta
62	Orta	Orta	Yüksek	Orta
63	Orta	Orta	Orta	Yüksek Orta
64	Orta	Orta	Düşük	Düşük Yüksek
65	Orta	Orta	Çok Düşük	Yüksek
66	Orta	Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük
67	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek Düşük
68	Orta	Yüksek	Orta	Düşük Orta
69	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek Orta
70	Orta	Yüksek	Çok Düşük	Düşük Yüksek
71	Orta	Çok Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük Yüksek
72	Orta	Çok Yüksek	Yüksek	Orta
73	Orta	Çok Yüksek	Orta	Yüksek Orta
74	Orta	Çok Yüksek	Düşük	Düşük Yüksek
75	Orta	Çok Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
76	Yüksek	Neredeyse yok	Neredeyse kesin	Yok
77	Yüksek	Neredeyse yok	Yüksek	Çok Düşük

Çizelge B.1 (devam) : EĞER öncülü İSE sonucu listesi.

Kural No	Öncül			Sonuç
	Meydana gelme	Şiddet	Saptanabilirlik	Risk
78	Yüksek	Neredeyse yok	Orta	Düşük
79	Yüksek	Neredeyse yok	Düşük	Düşük
80	Yüksek	Neredeyse yok	Çok Düşük	Yüksek Düşük
81	Yüksek	Düşük	Neredeyse kesin	Çok Düşük
82	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
83	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek Düşük
84	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük Orta
85	Yüksek	Düşük	Çok Düşük	Orta
86	Yüksek	Orta	Neredeyse kesin	Düşük
87	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek Düşük
88	Yüksek	Orta	Orta	Düşük Orta
89	Yüksek	Orta	Düşük	Orta
90	Yüksek	Orta	Çok Düşük	Yüksek Orta
91	Yüksek	Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük Orta
92	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
93	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek Orta
94	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük Yüksek
95	Yüksek	Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
96	Yüksek	Çok Yüksek	Neredeyse kesin	Orta
97	Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek Orta
98	Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Düşük Yüksek
99	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek
100	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Çok Yüksek
101	Çok Yüksek	Neredeyse yok	Neredeyse kesin	Çok Düşük
102	Çok Yüksek	Neredeyse yok	Yüksek	Çok Düşük
103	Çok Yüksek	Neredeyse yok	Orta	Düşük
104	Çok Yüksek	Neredeyse yok	Düşük	Düşük
105	Çok Yüksek	Neredeyse yok	Çok Düşük	Yüksek Düşük
106	Çok Yüksek	Düşük	Neredeyse kesin	Düşük
107	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek Düşük
108	Çok Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek Düşük
109	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük Orta
110	Çok Yüksek	Düşük	Çok Düşük	Orta
111	Çok Yüksek	Orta	Neredeyse kesin	Yüksek Düşük
112	Çok Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek Düşük
113	Çok Yüksek	Orta	Orta	Düşük Orta
114	Çok Yüksek	Orta	Düşük	Orta
115	Çok Yüksek	Orta	Çok Düşük	Yüksek Orta
116	Çok Yüksek	Yüksek	Neredeyse kesin	Düşük Orta

Çizelge B.1 (devam) : EĞER öncülü İSE sonucu listesi.

Kural No	Öncül			Sonuç
	Meydana gelme	Şiddet	Saptanabilirlik	Risk
117	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
118	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek Orta
119	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük Yüksek
120	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
121	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Neredeyse kesin	Yüksek Orta
122	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük Yüksek
123	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta	Yüksek
124	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek
125	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Düşük	Çok Yüksek

EK C : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu

Çizelge C.1 : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/Önleyici Faaliyet
FM3.2	Yorgunluk/Bireysel hata	8,168	1) Manevra öncesi ilgili personelin dinlendirilmesi ve yorgunluğunun giderilmesi. 2) Uygun iletişim ekipmanlarının kullanılması. 3) Kıyı ve gemi arasında vhf telsiz konuşmalarının anlaşılır olması ve konuşmalarda mütabık kalınması. 4) Vardiyacıların yorgun olmaması, tecrübeli olması, gerekli bilginin manevra öncesi verilmesi.
FM2.7	Çok sert rüzgar	7,260	1) Antenlerin sağlamlaştırılması, kontrolünün düzenli yapılması.
FM2.5	Aşırı sıcaklar	7,231	1) Uygun KKE kullanımının sağlanması. 2) Emniyetli uygulamaların yapılması.
FM4.2	Yüksek su	7,164	1) İlgili halat mesafesinin korunması. 2) Hortum ve halat durumunun düzenli (gelgit saatlerine göre) olarak kontrol edilmesi. 3) Yoğun gelgit olan yükleme ve tahliye operasyonlarında emniyetli hızda operasyon yapılması. 4) Kinistin valflerinin yüksek su kinistinden alçak su kinistinine geçirilmesi.
FM5.2	Gemi süratinde artma/azalma	7,082	1) Personelin bilgilendirilmesi, gerekli eğitimin verilmesi.
FM6.2	Makine dairesi ve yürütülen operasyonlar	7,029	1) Personelin bilgilendirilmesi. 2) Eksiksiz KKE kullanımının sağlanması.
FM5.1	Manevraya etki	7,029	1) Römorkör alınması. 2) Kılavuz kaptan alınması. 3) Usturmaça kullanılması. 4) Akıntı bilgilerinin operasyon öncesinde alınması, personelin akıntı hızı ve yönü hakkında bilgilendirilmesi. 5) Akıntı ölçen cihazın kontrol edilmesi. 6. Hızın düşürülmesi veya dengelenmesi. 7) Akıntı karşıdan geldiğinde makine yol kesilmesi, akıntı yönüne göre bir müddet farklı rotada seyir edilmesi.

Çizelge C.1 (devam) : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/ Önleyici Faaliyet
FM6.1	Güverte ekipmanları ve geminin yükü	6,973	1) Güvertede hareketli ekipmanın olmadığından emin olunmalı uygun yerlere bağlanarak neta edilmeli. 2) Sadece yetkin personel tarafından kullanılması, kullanılmadığı durumlarda emniyetli hâle edilmesi. 3) Tamir çalışmalarının yüklü durumlarda yapılmaması, gerekli tedbirlerin alınması. 4) Öncesinde risk değerlendirmesinin yapılması.
FM6.4	Yaşam mahalli işleri	6,970	1) Çalışan sistemlerin düzenli bakım ve kontrollerinin yapılması. 2) Mümkün olduğunca eşya ve ekipmanların sabitlenmesi. 3) Özellikle kuru yük operasyonlarında yaşam mahali giriş ve çıkışlarına, temizliğine dikkat edilmesi.
FM2.6	Aşırı soğuk	6,907	1) Devrelerin izole edilmesi, sürekli kontrolünün yapılması. 2) Uygun KKE kullanımının sağlanması
FM2.3	Yağmur	6,897	1) Personelin uyarılması, emniyetli geçiş yolları belirlenmesi ve geçiş yoluna kaymaz boyalar yapılması. Tutma yerleri yapılması. 2) Tank ve kargo kapaklarının sızdırmazlık testlerinin yapılması. 3) Yüklerin ıslanmaması için ambar kapak lastiklerinin sağlamlığının ve boşluklarının kontrolü için ultrasonik testler yapılması, ambar kapak tapalarının uygun sıkılması ve sağlamlık testlerinin yapılması. 4) Sky light, baca kaporta ve kapaklarının kapatılması, yağmur klapelerinin takılı ve sağlıklı çalıştığından emin olunması.
FM4.1	Alçak su	6,871	1) Gelgit hesabının yapılması. Klavuz kaptan ve sahille mütabık kalınarak operasyon için uygun zamanın seçilmesi. 2) Gemi yanaşma öncesi ilgili limanın tüm gelgit zamanlarının incelenmesi ve tedbirlerin alınması, halat manevraları için gemici görevlendirilmesi. 3) Kinistin valflerinin alçak su kinistininin yüksek su kinistinine geçirilmesi
FM4.3	Gelgit yüksekliğinin ani değişimi	6,858	1) Personelin alçak ve yüksek gelgit süreleri hakkında bilgilendirilmesi. 2) Halatların yüksek ve alçak gelgit dikkate alınarak ayarlanması. 3) Halat sayılarının, koşullarının ve tiplerinin kontrol edilmesi, halatların doğru konumlandırılmasının sağlanması. 4) Liman kalkışı öncesinde mutlaka kinistin filtrelerinin temizlenmesi.

Çizelge C.1 (devam) : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/Önleyici Faaliyet
FM8.1	Gemi yapı/ ekipmanlarındaki farklılık	6,808	1) Yük kreylerinin maksimum kaldırma testlerinin üzerinde zorlanmaması. 2) Çelik halatların çalışma saatlerinin düzenli tutulması ve değiştirilmesi. 3) Düzenli kontrollerinin yapılması.
FM2.4	Rüzgar şiddetinin/ Deniz şiddetinin/ Serpintilerin artması	6,804	1) Rıhtım ve destek ekipmanları için emniyetli bir hıza düşürülmesi. 2) Riskli hava koşullarının belirlenmesi ve gerekiyorsa operasyonun iptal edilmesi. 3) Manevraların son ana bırakılmaması. 5) Özellikle ağır havalarda sahil ya da terminalde çabuk sökülüp takılabilen halat atma ekipmanının kullanılması. Irgat dışında el ile babaya volta edilen halatların kullanılmaması (acil durumda alınması el ile olacağından zaman kaybettirecektir.) 6) Olası halat kopmalarına karşı gemide mutlaka yedek halatın bulundurulması. 7) Personele ağır hava koşulları için manevra eğitimi verilmesi. 8) Personele zarar verecek hiçbir koşulda operasyon yapılmaması. 9) Yaşam mahali içerisinde sallanmada tehlike yaratacak ekipmanların sağlam bağlanarak neta edilmesi. 10) Gerekirse römorkör ve kış üstünün ses işaretleri ile anlaşması. (Daha öncesinden açıklama yapılması şartı ile, mütabık kalmak lazım). 11) Olası iletişim kesikliğine karşı tüm telsiz ve ekipmanların bataryalarının dolu olması ve mümkünse yedeklenmesi. 12) Ağır hava öncesinde güverte yaşam mahali, makine dairesi ve köprüüstünde deniz netaları yapılması. Hareketli ekipmanların emniyete alınması. 13) Güverte ve makinede sallanmada tehlike yaratacak ekipmanların sağlam bağlanarak neta edilmesi.
FM7.3	Geminin freeboard'ının fazla olması	6,772	1) Ön hazırlık yapılması. 2) Personelin bilgilendirilmesi. 3) BOC hesabı yapılması, gerekirse uygun balast operasyonu yapılması.

Çizelge C.1 (devam) : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/ Önleyici Faaliyet
FM2.1	Buzda seyir	6,706	1) Kaptan tarafından meteorolojik takip yapılması. 2) Buz hareketlerinin düzenli takibinin yapılması. 3) Düzenli gözcülük yapılması. 4) Gerekli durumlarda buz kıran ile yola devam edilmesi. 5) ICE CLASS notasyonuna sahip gemilerin buzda seyir yapabilecek şekilde donatılması. (baş üstü kış üstü kamera, ısı kaybını engelleyen koruyucu kıyafetler, uygun sıcaklıkta çalışabilecek radar ve ecdis vd.). Geminin ICE CLASS olmaması durumunda buzkıran yardımıyla düşük hızda seyretmesi. 6) Buz kıran kullanılması. Pervane ve tekneye uygun boyanın kullanılması. Deniz buzlarının hareketlerinin takibi. 7) Gemi bünyesinde olası yırtılmalar için gemi personelinin iskandil alması, makine dairesindeki olumsuz değişmelerin hızlı rapor edilmesi. 8) Buz seyri için geminin kinis filitrelerinin ve collerlerin (ısı değiştiricilerinin) temiz olması, kinistinlerin kullanılamama durumunda ballast sistemi ile beslenmesi ve personelin eğitilmesi.
FM2.2	Güvertenin karlanması/ buzlanması	6,675	1) Personelin uyarılması, emniyetli geçiş yolları belirlenmesi ve geçiş yoluna kaymaz boyalar yapılması, tutma yerleri yapılması. Kaymaz ayakkabı (uygun KKE) kullanılması. Güverte geçiş yollarında geminin kar ve buzdan temizlenmesi. 2) İrgatların donması ve kullanılamaması durumunda operasyon öncesinde ekipmanların test edilemesi, eğer buzdan dolayı çalışmıyorlar ise temizlenmesi ve çalışır hale getirilmesi. 3) Olumsuz hava koşullarına karşı ekipmanların öncesinde kısa süreli kullanımı ile hazır tutulması. 4) Gemi güvertesinin temizlenmesi. Yükleme hatlarına uygun yüklemenin yapılması. Geminin aşırı yüklenmemesi, emniyet payı bırakılması. 5) Yükleme planı hazırlanırken gidilecek limanın deniz suyu yoğunluğuna, varış anındaki hava raporlarına, yükün karakterisitğine ve uygun stabilite koşullarına göre yüklemenin gerçekleştirilmesi. 6) Pompa ve boru devrelerinde ısıtmalı sistemlerin kullanılması (örneğin; balast devrelerinde bubble havalandırmaları ya da yangın devrelerinin tam olarak boşaltılması borunun patlamasını engelleyecektir.). 7) Hidrolik devrelerin ve boru devrelerinin sirkülasyon halinde tutularak donmalara engel olunması, hidrolik depo tanklarının ısıtılması ve kargo operasyonları öncesi düşük yükte ilk çalıştırılmaların yapılması.

Çizelge C.1 (devam) : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/ Önleyici Faaliyet
FM3.1	Yetersiz aydınlatma	6,632	1) Operasyonların gece yapılması halinde güvertenin daha fazla aydınlatılması, gerekirse kafa aydınlatması ve el fenerleri kullanılması. 2) Yeterli aydınlatmanın sağlanması. Gemi baş ve kıç aydınlatma florası ve projektörlerinin manevra öncesi test edilmesi uygun olmayan ekipmanların değiştirilmesi. 3) Güvertenin düzenli aralıklar ile kontrol edilmesi. 4) Kirlilik yaratabilecek durumlara karşı frengi tapalarının hazırlanması. 5) Uygun KKE kullanılması. 6) Güvertedeki personelin bilgilendirilmesi, personel sayısının artırılması. 7) Halat sayısının artırılması. 8) Sürekli izleme sağlanması. 9) İletişim için telsizlerin ya da uyarı seslerinin kullanılması. 10) Özellikle liman personeliyle olan görsel iletişimde doğru komutların verilmesi ve bu konuda tayfa sınıfının eğitilmesi. 11) Sahil tarafının gerekli personel ile donatılması ve sahilde gerekli aydınlatmanın sağlanması. Her koşulda emniyetli mesafe ve hızın korunması. 12) Radar ve ecdis ekranından geminin ve çevre gemilerin kontrolünün yapılması. Kıç üstünde yeterli gözcü bulundurulması. Yeterli aydınlatmanın sağlanması. Her koşulda emniyetli mesafe ve hızın korunması. 13) Römorkorun ve geminin yeterli aydınlatmayı sağlaması. Her koşulda emniyetli mesafe ve hızın korunması. 14) Makine dairesinde tüm aydınlatmaların aktif çalışması, karanlık bölgelerin aydınlatılması.
FM7.2	Gemi draftının fazla olması/Liman yeri yetersiz su miktarı	6,632	1) Ön hazırlık yapılması 2) Draftların hesaplanması 3) Personelin bilgilendirilmesi
FM6.3	Statik elektriklenme	6,548	1) Uygun malzeme ve KKE kullanılması.

Çizelge C.1 (devam) : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/ Önleyici Faaliyet
FM1.1	Görüş düşmesi ile güverte üzerindeki tehlikeleri fark edememesi	6,346	1) Görünürlükte önemli bir azalma olması durumunda, işlemin durdurulması veya emniyetli hıza düşürülmesi. 2) Halat manevra alanında yeterli aydınlatma sağlanması, personelin uygun KKE ile donatılması, tanbura sarılacak olan ya da stresse atılacak olan halatın emniyetli hızda yapılması. 3) Demir manevrası için; demirin güverte altında kalan kısmı için güçlü el aydınlatmalarının kullanılması, kaç kilit demir verildiğinin net gözlemlenebilmesi için zincire yapılan renkli işaretlerin iyi durumda olması, emniyetli hızda manevranın yapılması, mümkünse demirin ırgat ile verilmesi, mümkün değilse yani ırgat hayboci ile verilecekse personelin manevra alanının güçlü aydınlatılması, özellikle KKE olarak gözlük ve eldiven kullanılması. 4) Olası vakalar için halat alanına yetkili personel dışında kimsenin girmemesi, halatların düzenli bakım ve kontrollerinin yapılması, gerektiği takdirde değiştirilmesi, personele gerekli eğitimlerin verilmesi. 5) Kısıtlı görüşte, yük operasyonlarının (özellikle tankerler için) başlangıç aşamasında emniyetli bir hızla başlatılması ve her tankın başlamasında ve bitiminde güvertenin (borular, devreler, valfler, vd.) personel tarafından düzenli koordine edilmesi. 6) Güverte personelinin olası bir durum için iyi durumda haberleşme cihazları kullanması. 7) Güvertenin operasyon boyunca iyi aydınlatılması. 8) Frengi tapalarının ve güverteden denize açılan tüm açıklıkların operasyon öncesinde kapatıldığından emin olunması. 9) Acil durumlarda kullanılmak üzere, güvertede oil spill kitlerin hazır olması. 10) Yükleminin uygun istif kurallarına göre yapılarak birden fazla gözün kontrolünün yapılması. 11) Güvertenin operasyon boyunca iyi aydınlatılması. 12) Personelin uygun kaymaz durumda ayakkabı giymesi, uygun KKE kullanılması. 13) Yürüme yollarının kumlu boya ile boyanması (kaydırmazlık sağlamak için). Emniyetli güverte yolu oluşturulması. 14) Güverte personelinin düzenli aralıklarla halat ve demir durumunu kontrol etmesi. 15) Gelgit olan bölgelerde kontrollerin daha sıkı yapılması. 16) Manevra alanında yeterli aydınlatmanın sağlanması. 17) Görüşün kısıtlı olduğu durumlarda ve her durumda uygun çalışır el telsizlerinin kullanılması. 18) Acil durum prosedürlerinin belirlenmesi ve uygulanması.

Çizelge C.1 (devam) : Deniz düzenleyici ve önleyici faaliyetler havuzu.

Kod	Hata Türü	Fuzzy RPN	Düzenleyici/ Önleyici Faaliyet
FM7.1	Gemi boyutlarının artması	6,258	1) Geminin hız karakteristiğinin ve stabilitesinin gözden geçirilmesi. 2) İlgili operasyonlarda emniyet tedbirlerinin alınması. 3) Müdahale istasyon sayısının artırılması. 4) Geminin yapısına uygun boyun atanması ve makine gücünün dikkate alınması.
FM8.2	Gemilerin yükleri	6,224	1) Uygun KKE kullanılması ve personele eğitim verilmesi. 2) Görüşü kapamayacak inşa dizaynlarının gerçekleştirilmesi.
FM1.2	Görüş düşmesi ile geminin rıhtımı/ römorkörü/ babaları/ halatları görememesi	6,080	1) İyi seyir planlaması yapılması. 2) Vardiyacıların yeterince dinlenmesinin sağlanması, vardiyacıların tecrübeli olması. Dikkatli gözcülük yapılması. 3) Cihazların periyodik kontrolünün sağlanması. 2) Kıç üstünde ve baş üstünde, manevralarda durumu takip edecek yeterli sayıda personelin sağlanması. 3) Radar ekranından çevre gemilerin ve karanın takip edilmesi. 4) Acil durumda ikinci demirin varsa göz demirinin hazır tutulması. 5) Personele nasıl hareket edeceği konusunda eğitim verilmesi. 6) Kısıtlı görüşte gerekirse ses işaretleri ile iletişim sağlanması. 7) Kısıtlı görüş durumunda kılavuz kaptanlara manevra için uygun eğitimlerin verilmesi. 8) Tecrübeli kılavuzların kullanılması.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Serap Göksu

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2011 yılları arasında Toll Group Forwarding Ltd.'de çalıştı.
- 2011-2012 yılları arasında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Turgut Kıran Denizcilik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2012-2020 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Göksu, S.** and Arslan, O., 2020. Quantitative Analysis of Dynamic Risk Factors for Shipping Operations, *Journal of ETA Maritime Science*, 8(2), 86-97.