

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER
OPERASYONLARI VE RİSK ANALİZİ:
OLASILIKSAL YAKLAŞIM

Mustafa SÖKÜKCÜ

Ocak, 2021
İZMİR

GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI VE RİSK ANALİZİ: OLASILIKSAL YAKLAŞIM

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı,
Deniz Ulaştırma Sistemleri Mühendisliği Programı**

Mustafa SÖKÜKCÜ

**Ocak, 2021
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MUSTAFA SÖKÜKCÜ tarafından DR. ÖĞR. ÜYESİ CENK ŞAKAR yönetiminde hazırlanan “GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI VE RİSK ANALİZİ: OLASILIKSAL YAKLAŞIM” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Dr. Öğr. Üyesi Cenk ŞAKAR

Yönetici

.....
Dr. Öğr. Üyesi Ali Cem KUZU

Jüri Üyesi

.....
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURAN

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışma süreci boyunca bana tecrübeleriyle yol gösteren, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Cenk ŞAKAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim sürecimin her evresinde yanımda olan eşim Ayşe Esra SÖKÜKCÜ'ye destekleri için minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa SÖKÜKCÜ

GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI VE RİSK ANALİZİ: OLASILIKSAL YAKLAŞIM

ÖZ

Deniz taşımacılığında son yıllarda artan yük hacimlerine paralel olarak daha büyük kapasiteli gemilerin inşaa edilmesi ve bu gemilerin ise emniyetli bir şekilde yanaşabilecekleri uygun limanların sınırlı olması sebebi ile; daha ekonomik olması, deniz üzerinde yapılabiliyor olması ve daha kısa sürede operasyonların tamamlanabiliyor olması gibi avantajları nedeniyle denizde gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarına talepte artış görülmüştür.

Rutin liman yanaşma manevralarının aksine açık deniz koşullarında her iki geminin de hareketli olması yoluyla yapılan, her iki geminin de seyir halinde olduğu gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevraları doğası gereği klasik liman yanaşma manevralarından farklı olarak bir çok riskleri de içerisinde barındırmaktadır. Taşınan petrol türevi kargoların parlayıcı ve patlayıcı özellikleri ile birlikte operasyonun yapıldığı sahanın karaya olan mesafesi sebebi ile acil müdahale araçlarına erişimin de sınırlı olduğu gözönünde bulundurulursa, bu yanaşma operasyonlarının risk analizlerinin yapılması yaşanabilecek istenmeyen olayların da önlenabilir olmasını sağlayacaktır.

Gemiden gemiye transfer operasyonlarının yakın geçmişi sebebi ile akademik incelemeler ve risk değerlendirmeleri ancak son yıllarda yapılmış olan sayılı çalışmalar ile sınırlıdır. Bu sebeple bu çalışmada seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonu yanaşma manevralarının olasılıksal risk analizi, hata ağacı analizi ve bayes ağları risk analiz metotları birlikte kullanılarak yapılmış ve çatışma kazasına yol açan risklerin olasılıkları ve aralarındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemiden gemiye tanker transfer operasyonu, STS transfer, denizde yanaşma manevraları, çatışma, risk analizi

SHIP TO SHIP TANKER TRANSFER OPERATIONS AND RISK ANALYSIS: PROBABILISTIC APPROACH

ABSTRACT

Due to the construction of larger capacity ships in parallel with the increasing cargo volumes in recent years and the limited number of available ports where these big ships can safely dock; demand for ship to ship transfer tanker operations at sea has increased due to advantages such as being more economical, being able to be carried out at open sea and completing operations in a shorter time.

In contrast to routine port berthing maneuverings, berthing maneuvering for ship-to-ship transfer operations, where both ships are in motion and in open sea conditions, contain many risks, unlike the conventional port berthing maneuverings. Considering that the flammable and explosive properties of the petroleum derivative cargoes carried and the access to emergency response services are limited due to the distance from the land where the operation is performed, risk analysis of these berthing operations will ensure that unwanted events can be prevented.

Due to the recent history of ship-to-ship transfer operations, academic studies and risk assessments are limited to only a few studies conducted in recent years. For this reason in this study, probabilistic risk analysis of underway ship to ship tanker transfer operations berthing maneuvering carried out by using fault tree analysis and bayes network risk analysis methods, the risks and relationships between the risk that caused the collision accident were tried to be determined.

Keywords: Ship to ship tanker transfer operation, STS transfer, berthing maneuvering at sea, collision, risk analysis

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii

BÖLÜM BİR - GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI..... 1

1.1 Genel Operasyon Prensipleri.....	1
1.1.1 Tanımlamalar.....	1
1.1.2 STS Operasyonlarına Genel Bir Bakış ve Operasyon Çeşitleri.....	7
1.1.3 Gemiden Gemiye Transfer Operasyonları Öncesi Hazırlıklar	8
1.1.4 Risklerin Değerlendirilmesi.....	10
1.1.5 Gemiler Arası Haberleşme	12
1.1.6 Yanaşma Manevralarında Kullanılan Ekipmanlar.....	14
1.2 Emniyet Tedbirleri.....	17
1.2.1 STS Kontrol Listeleri.....	19
1.3 Gemi Manevrası Operasyonları.....	20
1.3.1 Her İki Geminin de Seyir Halinde Olduğu Yanaşma Manevraları.....	21
1.3.1.1 Yanaşma Manevrası Sonrasında Kombine İki Geminin Demirleme Manevrası	27
1.3.1.2 Yanaşma Manevrası Sonrasında Seyir Halinde Devam Edilen Transfer Operasyonları	29
1.3.2 Gemilerden Birisinin Demirli Olduğu Yanaşma Manevraları.....	30
1.3.3 Liman Sınırları İçerisinde Yapılan Yanaşma Manevraları.....	30
1.3.4 Gemilerden Birisinin Rıhtıma Bağlı Olduğu Yanaşma Manevraları (Double Banking).....	31

1.3.5 Bağlama Operasyonları	33
1.3.6 Ayrılma Manevraları	35
1.3.6.1 Her İki Geminin de Seyir Halinde Olduğu Ayrılma Manevraları	35
1.3.6.2 Gemilerden Birisinin Demirli Olduğu Ayrılma Manevraları	36
1.3.6.3 Gemilerden Birisinin Rıhtıma Bağlı Olduğu Ayrılma Manevraları	37
1.3.6.4 Hızlı Serbest Bırakma Düzenekleri (Quick Release Arrangements)	
Kullanılarak Halatların Mola Edilmesi.....	37
1.4 Gemiden Gemiye Tanker Transfer Operasyonları ve Manevralarına İlişkin	
Yazın Taraması	39

BÖLÜM İKİ - RİSK ANALİZ TEKNİKLERİ..... 46

2.1 Hata Ağacı Analizi (FTA-Fault Tree Analysis).....	46
2.1.1 Hata Ağacı Diyagramlarının Elementleri ve Kullanılan Semboller	47
2.1.1.1 Olay Sembolleri (Event Symbols).....	48
2.1.1.2 Kapı Sembolleri (Gate Symbols).....	49
2.1.2 Basit Bir Hata Ağacı Analizi Gösterimi	50
2.1.3 Hata Ağacı Analizlerinin Niteliksel ve Niceliksel Değerlendirmeleri	51
2.1.4 Hata Ağacı Analizlerinin Karar Verme Aşamasındaki Rolü.....	52
2.1.5 Hata Ağacı Analizinin Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın	
Taraması	54
2.2 Bayes Ağları	60
2.2.1 Bayes Ağlarının Yapısı.....	61
2.2.1.1 Bayes Ağlarında Zincir Kuralı	61
2.2.1.2 Koşullu Bağımsızlık ve Bayes Ağları	61
2.2.1.3 Bayes Ağlarında Bilginin Gösterilmesi	64
2.2.2 Bayes Ağlarının Oluşturulma Süreci	66
2.2.2.1 Değişkenlerin Belirlenmesi	67
2.2.2.2 Bayes Ağı Nitel Modelinin Oluşturulması	68
2.2.2.2.1 Nedensel İlişki Analizi.	70
2.2.2.2.2 Veri Setinden Öğrenme	71
2.2.2.2.3 Koşullu Olasılık Değerlerinin Belirlenmesi.....	71

2.2.2.2.4 Önsel Olasılıkların Uzman Görüşü Kullanılarak Belirlenmesi	73
2.2.2.2.5 Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi	75
2.2.3 Bayes Ağlarında Çıkarım	76
2.2.4 Bayes Ağlarında Olasılıkların Güncellenmesi	78
2.2.5 Bayes Ağlarında Duyarlılık Analizi	79
2.2.6 Bayes Ağlarında Geçerlilik	81
2.2.7 Bayes Ağlarının Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması.	81
2.3 Hata Ağacı ve Bayes Ağları	87
2.3.1 Hata Ağacından Bayes Ağına Geçiş Modeli	87
2.3.2 Hata Ağacı ve Bayes Ağlarının Birlikte Uygulanması	90
2.4 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi	97
2.4.1 Üyelik Fonksiyonları	98
2.4.2 Bulanık Sayılar	100
2.4.3 Sözel Değişkenler (Dilsel İfadeler)	102
2.4.4 Bulanık Denetim Sistemleri	103
BÖLÜM ÜÇ - GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI RİSK ANALİZİ: OLASILIKSAL YAKLAŞIM	107
3.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	107
3.2 Araştırmada Kullanılan Metot	108
3.2.1 Araştırmanın Modeli	108
3.2.2 Verilerin Toplanması	111
3.2.3 Kök Nedenlerin Belirlenmesi ve Hata Ağacının Oluşturulması Aşamasında Görüşlerine Başvurulan Uzmanların Seçimi	113
3.3 Nitel Modelin Oluşturulması	113
3.3.1 Araştırma Probleminin Belirlenmesi	114
3.3.2 Kök Nedenlerin Belirlenmesi	115
3.3.3 Hata Ağacı Yapısının Oluşturulması	119
3.4 Nicel Modelin Oluşturulması	122
3.4.1 Kök Nedenlerin Hata Olasılıklarının Hesaplanması Süreci	122

3.4.1.1 Uzmanların Seçimi ve Uzman Ağırlık Katsayılarının Belirlenmesi	122
3.4.1.2 Kök Neden Olasılıklarının Uzman Görüşleri ile Elde Edilmesi.....	125
3.4.1.3 Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi	128
3.4.1.4 Birleştirilen Bulanık Sayıların Durulaştırılması Süreci	131
3.4.1.5 Hata Olasılıklarının Hesaplanması	132
3.4.2 Hata Ağacı Analizi ile Tepe Olay Olasılığının Hesaplanması	134
3.4.3 Hata Ağacı Diyagramından Bayes Ağlarına Geçiş	134
3.4.4 Koşullu Olasılık Tabloları	137
3.4.5 Geriye Doğru Çıkarsama	140
3.4.6 Duyarlılık Analizi	144
3.4.7 Bayes Modelinin Geçerliliği.....	149
3.4.8 Örnek Olay Analizi.....	151
3.4.8.1 Kaza Raporu	151
3.4.8.2 Analiz Sonucu	151
BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR	154
4.1 Çalışmanın Akademik ve Uygulamaya Yönelik Katkıları	156
4.2 Araştırmanın Kısıtları	157
4.3 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	158
KAYNAKLAR.....	160

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Demirde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonu.....	8
Şekil 1.2 Ana geminin üzerine bağlanmış olan birincil usturmaçalar.....	15
Şekil 1.3 Manevra yapan geminin baş tarafına bağlanmış olan ikincil usturmaça	15
Şekil 1.4 Gece yapılan transfer operasyonlarında güverte aydınlatması	16
Şekil 1.5 Son 36 ay içerisinde yapılmış olan STS gemi manevrası çeşitleri	20
Şekil 1.6 Her iki geminin seyir halinde olduğu yanaşma manevrası aşamaları.....	21
Şekil 1.7 Her iki geminin seyir halinde olduğu yaklaşma manevrası.....	25
Şekil 1.8 Her iki geminin seyir halinde olduğu yaklaşım manevrasını gösteren radar görüntüsü.....	27
Şekil 1.9 Demirde yapılan gemiden gemiye transfer operasyonu.....	28
Şekil 1.10 Etki Liman, Aliğa da yapılan double banking yanaşma manevrası	32
Şekil 1.11 Kırmızı halatlar büyük geminin halatları, siyah halatlar manevra yapan geminin halatları	34
Şekil 1.12 Geçiş pini kullanarak halatın mola edilmesi.....	38
Şekil 2.1 Basit olay sembolü.....	48
Şekil 2.2 Tepe veya ara olay sembolü	48
Şekil 2.3 Ana olay sembolü.....	49
Şekil 2.4 Gelişmemiş olay sembolü	49
Şekil 2.5 Şartlandırılmış olay sembolü	49
Şekil 2.6 Ve kapısı sembolü	50
Şekil 2.7 Veya kapısı sembolü	50
Şekil 2.8 Basit bir hata ağacı gösterimi.....	51
Şekil 2.9 Olasılıksal modelin zincir kuralı kullanılarak grafiksel gösterimi.....	62
Şekil 2.10 Bayes ağı bileşik olasılık dağılımı gösterimi	63
Şekil 2.11 Bayes ağ yapısında bağlantı modeli.....	65
Şekil 2.12 Basit bir bayes ağ modeli.....	68
Şekil 2.13 Örnek bayes ağ yapısı	70
Şekil 2.14 Koşullu olasılık tablosu bağlantı gösterimi	77

Şekil 2.15 Hata ağacından bayes ağlarına geçiş algoritması.....	88
Şekil 2.16 Hata ağacında "ve", "veya" kapıları ve bayes ağlarında gösterimi.....	89
Şekil 2.17 Üçgen üyelik fonksiyonu	99
Şekil 2.18 Yamuk üyelik fonksiyonu	99
Şekil 2.19 Üyelik fonksiyonu.....	100
Şekil 2.20 Bulanık sayı (a) ve bulanık aralığın (b) gösterimi	101
Şekil 2.21 Performans sözel değişkeni ve sözel değerleri	103
Şekil 2.22 Bulanık kontrol sistemi	104
Şekil 2.23 Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi	105
Şekil 3.1 Araştırmanın modeli	110
Şekil 3.2 Araştırmanın süreçleri.....	111
Şekil 3.3 Hata ağacı.....	121
Şekil 3.4 Hata ağacı ile tepe olay olasılık hesabı	134
Şekil 3.5 Önsel olasılıklar ile oluşturulmuş bayes ağ yapısı.....	136
Şekil 3.6 Güncellenmiş bayes ağ yapısı.....	139
Şekil 3.7 Geriye dönük analiz yöntemi ile bayes ağ yapısı.....	143
Şekil 3.8 Kaza raporundaki değişkenleri kanıt olarak girilmesi sonrasında bayes ağ yapısı	151

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları ve manevralarına ilişkin yazın taraması	40
Tablo 2.1 Hata ağacı analizlerinin denizcilik alanında kullanımına ilişkin yazın taraması	55
Tablo 2.2 Bayes ağ gösterimine göre koşullu olasılık tablosu azaltılması.....	64
Tablo 2.3 Xn için koşullu olasılık tablosu örneği (CPT)	72
Tablo 2.4 Bayes teoremi bileşenleri	79
Tablo 2.5 Bayes ağlarının denizcilik alanında kullanımına ilişkin yazın taraması	82
Tablo 2.6 Hata ağacı analizi ve bayes ağlarının birlikte kullanıldığı çalışmalara ait yazın taraması	93
Tablo 3.1 İncelenen kaza raporları ve kök nedenleri	112
Tablo 3.2 Kök nedenlerinin belirlenmesi ve hata ağacının oluşturulması aşamasında görüşülen uzman bilgileri.....	113
Tablo 3.3 Kök nedenlerin tanımlanması	115
Tablo 3.4 Kök nedenlerin olasılıklarının belirlenmesinde görüşülen uzmanlar	123
Tablo 3.5 Uzman ağırlık katsayısı belirleme kriterleri.....	124
Tablo 3.6 Uzman profili ve ağırlık katsayıları	125
Tablo 3.7 Sözel değişkenler ve bulanık üyelik fonksiyonları	126
Tablo 3.8 Kök nedenler üzerine sözel uzman görüşleri	127
Tablo 3.9 “X9 Emniyetsiz personel donatımı” değişkeni için birleştirme hesabı....	129
Tablo 3.10 Kök nedenlere ait birleştirilmiş bulanık sayılar	130
Tablo 3.11 Her bir kök nedene ait durulaştırılmış hata olabirlikleri (defuzzied failure possibility).....	131
Tablo 3.12 Her bir basit olaya ait hata olasılıklarının hesaplanması (failure probability)	133
Tablo 3.13 Teknik beceri eksikliği düğümünün koşullu olasılık tablosu	137
Tablo 3.14 Teknik beceri eksikliği düğümü için düzeltilmiş koşullu olasılık tablosu	138

Tablo 3.15 Düğümlere ait önsel ve sonsal olasılık değerleri tablosu.....	141
Tablo 3.16 Manevra hatası düğümü için duyarlılık analizi.....	145
Tablo 3.17 İnsan hatası düğümü için duyarlılık analizi	146
Tablo 3.18 Haberleşme hatası düğümü için duyarlılık analizi.....	147
Tablo 3.19 Emniyetsiz durum hatası düğümü için duyarlılık analizi.....	148
Tablo 3.20 3.taraf hatası düğümü için duyarlılık analizi.....	149
Tablo 3.21 Aksiyom I-II doğrulaması	150
Tablo 3.22 Aksiyom III doğrulaması	150



BÖLÜM BİR

GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI

1.1 Genel Operasyon Prensipleri

İki geminin yük transferi yapmak amacıyla birbirine bağlanması operasyonu gemiden gemiye transfer operasyonu (Ship to Ship-STS) olarak isimlendirilmektedir. Ufak yakıt teknelerinin yakıt ikmal amacı ile büyük gemilerin üzerine yanaştığı manevralar da aslında bir gemiden gemiye transfer operasyonudur fakat bu araştırma çalışmasında yakıt ikmal işlemi (bunkering) yapan ufak teknelerin yapmış oldukları manevralardan daha çok büyük tonajlı tankerlerin birbirleri arasında yapmış oldukları transfer operasyonları incelenmiştir.

Bu bölümde gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının genel hatları üzerinde bilgilendirmelerde bulunularak, araştırmanın asıl konusu olan seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonu yanaşma manevraları ile ilgili olarak detaylı incelemelerin sonuçlarına yer verilmiştir.

1.1.1 Tanımlamalar

Bu çalışma içerisinde yer alan mesleki terimler ve tanımlamalar, çalışmanın daha iyi bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilmek adına yazar tarafından derlenerek aşağıdaki şekilde açıklanmıştır:

Ana gemi, Mother ship: Transfer operasyonunda yer alan gemilerden nispeten büyük olanıdır. Genellikle büyük olan gemi operasyondaki kargoyu tahliye eden gemidir, fakat ters transfer operasyonlarında küçük gemiden kargoyu yükleyen gemi de olabilir (STS Guide, 2013).

Bağlama kaptanı, Mooring master, STS Superintendent: Bağlama ve ayrılma manevralarında gemi kaptanlarına destek veren kişidir. Bazı operasyonlarda bağlama

kaptanı aynı zamanda kargo transfer operasyonunun takibinden sorumlu operasyon amiri de (STS superintendent) olabilir. Bağlama kaptanı transfer operasyonlarında bir kılavuz kaptan rolünü üstlenerek gemi kaptanı ve gemi personeline emniyetli seyir ve gemi manevrası üzerine tavsiyelerde bulunan kişi olacaktır (STS Guide, 2013).

Bağlama kaptanı yardımcısı, *Mooring master assistant*: Transfer operasyonlarında usturmaçaların konumlandırılması, transfer hortumlarının bağlanması gibi görevlerde bağlama kaptanına yardımcı olan kişidir (STS Guide, 2013).

Bağlama Loçası, *Firdöndü*: Bağlama halatlarının içerisinden geçirilip, gemi küpeştesinden çıkış yaparak bağlanacağı sahile veya diğer bir gemiye gönderildiği, sağlam malzemeden yapılmış ve gemi üzerine kaynatılmış sabit pozisyonundaki bağlama ekipmanlarıdır (Zaloğlu, 1988).

Balast, Safra: Gemileri ve her boyda deniz aracını dengede tutmak ve istenilen su seviyesine kadar batırmak için belirlenmiş özel bölümlerine doldurulmuş olan deniz suyu (Zaloğlu, 1988).

Balast Tankı: Balast taşımak için gemi üzerinde ayrılmış olan kompartmanlardır (Zaloğlu, 1988).

Baş İter, *Bow Thruster*: Geminin manevra kabiliyetini arttırmak için baş tarafına monte edilmiş, ensel bir itme kuvveti yaratan makine sistemidir (Babic, 2015).

Birincil usturmaça, *Primary fenders*: Büyük boyutlu usturmaçalar olup yanaşma sırasında gemiler arasında oluşacak enerjiyi azaltarak hasarlanmaları önleme, ayrıca operasyon sırasında hava şartlarından kaynaklı, gemilerin hareketleri sırasında birbirlerine temas etmelerini önleyecek olan hava basınçlı usturmaçalardır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Çatışma, Çatma: Bir geminin başka bir gemi ile çarpışması, gemi yüzeylerinin birbirine teması ile sonuçlanan istenmeyen durum (Zaloğlu, 1988).

Demirde yapılan transferler, *Transfer at anchor*: Birbirine bağı kargo transferi yapan gemilerden birisinin demirlemiş olması durumu (STS Guide, 2013).

Deplasman, *Displacement*: Geminin herhangi bir andaki sahip olduğı toplam ağırlıktır. Gemi üzerindeki kargo, balast, yakıt, su, yedek malzeme, kumanya ve gemi boş ağırlıklarının toplamı ile bulunur (Babicz, 2015).

***Double banking*:** Operasyona konu gemilerden birisinin, genellikle büyük olan geminin, liman sınırları içerisinde bir rıhtıma bağı olması ve diğ er geminin, rıhtıma bağı gemi üzerine yanaşması ile yapılan opearsyonlardır (STS Guide, 2013).

Emniyetli Çalışma Ağırlığı, *Safe Working Load (SWL)*: Bir ekipmanın arıza vermeden veya bükülmeden, kırılmadan önce maruz kalabileceğı veya taşıyabileceğı maksimum ağırlık miktarını tanımlamak için kullanılan terimdir (Babicz, 2015).

Geminin kararması, *Ship blackout*: Gemi ana makine ve güç kaynaklarının stop etmesi (Babicz, 2015).

Gros Ton, *Gross Ton*: Gemideki kapalı hacimlerin toplamıdır. 2.83 m3 lük kapasiteyi gösteren tondur (Zaloğlu, 1988).

İkincil usturmaça, *Secondary fenders*: Birincil usturmaçalara göre daha ufak boyutlu usturmaçalar olup genellikle manevra yapan geminin baş ve kıç bölümlerine sabitlenerek yanaşma ve ayrılma manevraları sırasında gemilerin birbirlerine temasını önleme amaçlı kullanılmaktadır. Yaygın olarak bebek usturmaçalar (baby fenders) olarak da isimlendirilebilmektedir (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Küçük gemi, *Doughter vessel*: Gemiden gemiye transfer operasyonu içerisinde yer alan gemilerden nispeten küçük olanıdır. Genellikle küçük olan gemi operasyondaki

kargoyu yükleyen gemidir, fakat ters transfer operasyonlarında büyük gemiye kargoyu tahliye eden gemi de olabilir (STS Guide, 2013).

Hafifletme operasyonu, *Lightering operation*: Gemiden gemiye yük transfer operasyonları için kullanılan genel bir terimdir (STS Guide, 2013).

Manevra yapan gemi: Bağlama veya ayrılma manevralarında rotasını koruyacak olan gemiye yaklaşan veya uzaklaşan, yani manevrayı yapan gemidir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Mavna, *Barge*: Gemilere ve yakın kıyılara yük taşımak için dizayn edilmiş, genellikle açık denizlerde çalışmaya elverişli olmayan ufak tekne (Babicz, 2015).

Operasyon amiri, *STS Superintendent*: Genellikle hizmet sağlayıcı firma tarafından atanan, transfer operasyonunun koordinesi ve gözetimi konusunda gemi kaptanlarına destek veren uzman kişidir. Operasyon amiri aynı zamanda bağlama kaptanı (mooring master) ve operasyon gözlemcisi (transfer supervisor) olarak da isimlendirilebilmektedir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Petrol Şirketleri Uluslararası Deniz Forumu, *Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)*: Deniz üzerinde taşınan petrol ve türevleri ile ilgilenen uluslararası petrol firmalarının oluşturduğu birliktir. OCIMF tankerlerin, mavnaların ve açık deniz gemilerinin tasarımı, inşası ve işletilmesi üzerine en emniyetli uygulamaları teşvik ederek aynı zamanda karadaki terminaller ile emniyetli ilişkilerini belirleyerek insan ve çevre emniyetinin arttırılmasına odaklanmaktadır (STS Guide, 2013).

Rotasını koruyacak olan gemi: Gemi manevrası sırasında rota ve süratini muhafaza ederek manevra yapan geminin emniyetli bir şekilde üzerine bağlamasını veya üzerinden ayrılmasını sağlayan gemi (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Servis gemisi, Service ship: Bakınız “Yükleme yapan gemi” (STS Guide, 2013).

Seyir halinde yapılan transferler, Underway transfers: Birbirine bağlı kargo transferi yapan gemilerin her ikisinde seyir halinde bulunması, üzerinde yol bulunan tekne olması durumudur (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

STS destek teknesi, STS support vessel: Transfer operasyonlarında görevli personel ve kullanılacak ekipmanların transfer bölgesine ve gemiden gemiye taşınması için kullanılan ufak teknelerdir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

STS Hizmet Sağlayıcısı, STS Service Provider: Atanmış olduğu STS operasyonlarını organize etmek ve gemi personeline operasyon ile ilgili destek olmak üzere görevlendirilmiş firmalardır. Bu firmaların hizmet alanları çok geniş olmakla birlikte genellikle operasyonu yönetecek personel ve operasyonda kullanılacak ekipman tedarikini sağlamaktadırlar (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

STS Organizatörü, STS Organiser: Gemiden gemiye transfer operasyonu ayarlamalarını yapan karadaki organizatörlerdir. Organizatör aynı zamanda STS hizmet sağlayıcısı da olabilir (STS Guide, 2013).

Tahliye eden gemi, Discharging ship, STBL: Transfer operasyonunda yükü muhafaza eden ve genellikle küçük gemi olan, yükleme yapacak olan gemilere yükü transfer eden gemidir. Aynı zamanda STBL (Ship to be Lightered) kısaltması ile de tanımlanmaktadır (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Ters transfer operasyonları, Reverse lightering: Nispeten küçük olan gemiden tahliye edilen kargonun, büyük olan gemiye yüklenmesi şeklinde yapılan transfer operasyonlarıdır. Bu tarz operasyonlarda yükleme yapan gemi, ana gemidir (STS Guide, 2013).

Tirim, Trim: Gemi baş ve kıç su çekimleri (draft) arasındaki farklılık. Kıça veya başa olarak adlandırılır (Zaloğlu, 1988).

Transfer operasyonundaki danışman kişi, *Person in overall advisory control (POAC)*: Denizde petrol türevi kargo transferlerinin esnasında operasyonun genel olarak emniyetli gerçekleştirilmesinden sorumlu olan gözetmen, danışmandır. Eğer atanmışsa operasyon amiri veya gemi kaptanlarından birisi, genellikle manevra yapan gemi kaptanı olmaktadır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Uluslararası Deniz Ticaret Odası, *International Chamber of Shipping (ICS)*: Ulusal armatör derneklerinin üyeliği yoluyla dünyanın ticari gemi tonajının yaklaşık yüzde 80'ini oluşturan ana denizcilik organizasyonudur. Deniz güvenliği, gemi tasarımı ve inşaatı, deniz kirliliğinin önlenmesi ve denizcilik yasaları gibi denizcilik üzerine endişelerin tümüyle ilgilenmektedir (STS Guide, 2013).

Uluslararası Gaz Tankeri ve Terminal Operatörleri Derneği, *Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO)*: SIGTTO, gaz tankerlerinin ve terminallerinin emniyetli ve güvenilir şekilde işletilmesi ile ilgili konularda üyelerinin karşılıklı çıkarlarını korumaya ve teşvik etmeye adanmış kar amacı gütmeyen bir kuruluştur (STS Guide, 2013).

Yakıt ikmali, *Bunkering*: Denizde veya liman içerisinde bu iş için dizayn edilmiş yakıt taşıyan bir gemiden başka bir gemiye yakıt transferinin yapılması operasyonudur. Bu operasyon için yakıt taşıyan gemi yaklaşarak ikmal yapacağı geminin uygun borda tarafına yanaşır ve üzerine bağlar (Babicz, 2015).

Yükleme yapan gemi, *Receiving ship*: Tahliye eden gemiden transfer edilen kargoyu yükleyen gemidir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Yüzer Depo ve Tekrar Gazlaştırma Üniteleri, *Floating Storage Regasification Unit (FSRU)*: Doğal gazın soğutulularak sıvı fazına geçirilmesi ve sıvı halde gemi üzerinde depolanması, ihtiyaç halinde ise sıvının sıcaklığının tekrar düşürülerek gaz

hale geçirilerek bir boru hattına verilmesini sağlayan, özel inşaa edilmiş gemilerdir (Cusiter ve diğer., 2006). Bir örneği Etki Liman, Aliağa da bulunmaktadır.

1.1.2 STS Operasyonlarına Genel Bir Bakış ve Operasyon Çeşitleri

Büyük su çekimli gemilerin, özellikle ham petrol taşıyan tankerlerin sayılarının son yıllarda artış göstermesi ve bu gemilerin yanaşabilecekleri yüksek su derinliğine sahip liman sayılarının yetersizliği nedeniyle limana yanaşmadan, deniz üzerinde yapılan gemiden gemiye yük transfer operasyonlarının sayılarında artış görölmektedir (Zhuang ve Su, 2015).

Tanker tipi gemiler için gemiden gemiye yük transfer operasyonlarının geçmişı; gemi boyut ve deplasmanlarının artış göstermeye başladığı ve özellikle Amerikan limanlarda uygulanan liman derinlik kısıtlamaları gibi nedenler ile 1960lı yıllara dayanmaktadır. Bu bağlamda gemiden gemiye tanker transfer operasyonları günümüzde sadece liman derinlik kısıtlamalarının üstesinden gelmek için yapılmayıp aynı zamanda petrol ve türevi ürünlerin dünya çapında taşınmasını sağlayan bir ticari araç olarak uygulanmaktadır (Zenios, 2016).

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının başlıca avantajı gemilerin limana yanaşmalarına gerek kalmaması sebebiyle muazzam ölçüde zaman kazancı ve dolayısıyla da finansal kazançtır (Decker, 2006).

Zaman içerisinde denizde veya limanda gerçekleştirilen gemiden gemiye dökme sıvı yük transferleri yaygın gerçekleştirilen bir operasyon haline gelmiştir. Geçmiş transfer operasyonları sonrasında emniyetli olarak bu operasyonların gerçekleştirilebilmesinin uygun teçhizatın kullanılmasına ve yürürlükteki prosedürlere uyulmasına bağlı olduğu sonuçları çıkartılmıştır (STS Guide, 2013).

Açık denizde seyir halinde, demirde veya bir rıhtım ya da şamandıraya bağlı iken bir gemiye diğer bir geminin yanaşması ile yapılan dökme sıvı yük transferlerinin hepsi gemiden gemiye transfer operasyonu içerisinde değerlendirilmektedir. Gemiden

gemiye transfer operasyonu içerisindeki gemileri adlandırmada genel tanım olarak kabul edilen tahliye eden gemi (discharging ship), yükleme yapan gemi (receiving ship), ana gemi yani büyük olan gemi (mother ship) ve yavru gemi yani nispeten küçük olan gemi (daughter vessel) tabirleri kullanılmıştır. Operasyonu kontrol eden kişiyi isimlendirirken de yine genel tanım olarak operasyon amiri (STS superintendent) veya bağlama kaptanı (mooring master) tabirleri kullanılmaktadır (STS Guide, 2013).

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının ve bu operasyonlara özgü coğrafi transfer alanlarının önümüzde yıllar içerisinde önemli ölçüde artması beklenmektedir (Pedersen, Shimizu ve Berg, 2008). Şekil 1.1’de demirde yapılan bir gemiden gemiye transfer operasyonuna ait kuşbakışı çekilmiş fotoğraf görülmektedir.



Şekil 1.1 Demirde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonu (Orkneyharbours, 2020)

1.1.3 Gemiden Gemiye Transfer Operasyonları Öncesi Hazırlıklar

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları planlanırken, planlayıcılar gemilerin operasyon için dizayn ve ekipmanları bakımından uygun olduklarından emin olmalıdırlar. Operasyon öncesinde bir uygunluk değerlendirmesi yapılarak, alınması

gerekiyorsa ilave tedbirler önceden ortaya çıkartılmalıdır. Operasyon öncesinde ilk uygun fırsatta her iki gemi kaptanına, gemilerin boyu, su seviyesinden sonra kalan borda yükseklikleri (freeboard), bağlama noktaları, manifoldların gemi üzerindeki pozisyonları ve donatılacak olan usturmaçaların (fenders) pozisyonları gibi bilgiler iletilmelidir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Özellikle benzer dizaynı ve boyları birbirine yakın olan gemilerin yapacağı operasyonlar sırasında gemilerin köprüüstü kırlangıçlarının birbirleri ile temas etmemesi hususu dikkate alınmalıdır. Eğer temas riski görülüyorsa, kırlangıçları maksimum genişliğinin dışına taşmış durumda olan gemiler transfer operasyonunda kullanılmamalıdır. Önleyici hareket olarak gemilerin birbirlerine göre manifold bağlama pozisyonları, kırlangıçları denk gelmeyecek şekilde planlanabilir yada gemilerin arasında yeterli aralığı sağlayabilecek özellikte usturmaçalar donatılabilir (STS Guide, 2013).

Gemiden gemiye transfer operasyonu içerisinde yer alacak olan gemi kaptanları operasyon öncesinde uygun ilk fırsatta aşağıda sıralanmış olan hazırlıkları yapmalıdırlar (STS Guide, 2013):

- Operasyon ile ilgili olarak risklerin değerlendirilmesi ve risklerin sonucunda alınmış olan tüm tedbir ve önlemlerin uygulamada olduğundan emin olmak.
- STS Guide içerisinde yer alan bilgilendirmeler ve ayrıca varsa STS hizmet sağlayıcı firma ve şirket prosedürlerine aşina olmak.
- Gemisinin ilgili kontrol listelerine uyumluluğu sağlayacağını doğrulamak.
- Gemi personeline STS operasyonu ile ilgili olarak özellikle bağlama ve ayrılma manevraları ile ilgili eğitim ve bilgilendirmede bulunmak.
- Dümen donanımı, tüm seyir ekipmanları ve haberleşme cihazlarının iyi kondisyonda çalıştığından emin olmak.
- Ana makinesi ve baş-kıç iter uzaktan kontrol mekanizmalarının kontrol edilmesi ve ana makinesinin ileri ve tornistan pozisyonunda test edilmesi.
- Kargo ve emniyet ekipmanlarının kontrolü ve test edilmesi.
- Gemilerin meyilsiz ve pervane kanatlarının yeterli miktarda su içerisinde olacak şekilde uygun tirimlendirildiğinin teyit edilmesi.

- Bağlama ekipmanlarının ve kılavuz halatlarının bağlama planına uygun olarak hazırlanması.
- Usturmaçaların ve kargo transfer hortumlarının uygun şekilde konumlandırıldığından ve sabitlendiğinden emin olmak.
- Kargo bağlama noktalarının ve hortum elleçleme donanımlarının kontrol edilmesi ve hazırlanması.
- Transfer operasyonu süresince hava şartlarının kontrol edilmesi.
- Acil bir durumda, acil durum işareti görüldüğünde yapılacakların görüşülüp mutabık kalınması.

1.1.4 Risklerin Değerlendirilmesi

Olası tehlikelerin veya kazaların oluşma olasılığını azaltabilmek için emniyet tedbirleri göz önünde bulundurularak durum tespitinin yapılması gemi sahipleri tarafından benimsenmiş ve gemiden gemiye transfer operasyonları öncesinde risk değerlendirmesinin yapılarak tehlikelerin belirlenmesi gerekli bir uygulama haline gelmiştir (Zenios, 2016).

Gemiden gemiye transfer operasyonu öncesinde detaylı bir risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Risk değerlendirilmesinde operasyonun bütün fiziksel ve operasyonel aşamaları detaylı bir biçimde ele alınmalıdır. Tehlikeler belirlenerek bu tehlikelere karşı alınmış tedbirler derecelendirilmelidir. Risk değerlendirmesinin kapsamı planlanan operasyonun zorluk derecesine göre farklılık gösterecektir. Belirli transfer bölgelerinde sağlanan standart transfer ekipmanları ve bağlama kaptanı eşliğinde yapılan rutin transfer operasyonlarında genel bir risk değerlendirmesi yeterli gelebilir. Eğer genel bir risk değerlendirmesi yapılıyorsa, planlanan operasyon için tehlikeler ve alınacak önlemler açık bir şekilde belirtilmelidir. Planlanmış risk değerlendirmesinin dışında değişen durumlar ve tehlikeler belirmiş ise yeni bir risk değerlendirmesinin yapılması düşünülmelidir (Glykas ve Perissakis, 2011).

Stavrou ve Ventikos tarafından 2016 senesinde yapılmış olan araştırmada gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarında en sık görülen riskler içerisinde operasyona

konu gemiler arasında oluşacak çatışma riski gösterilmiş olup, çatışma riskinin nedenleri arasında ise makine veya ekipman arızası, pilotaj hatası, yetersiz personel eğitimi, yorgunluk veya uygun olmayan hava koşulları sıralanmıştır (Stavrou ve Ventikos, 2016).

Transfer operasyonları için risk değerlendirmesi asgari olarak şu değerlendirmeleri içermelidir (Glykas ve Perissakis, 2011):

- Operasyonla ilişkili tehlikelerin tanımlanması (çatışma tehlikesi, karaya oturma vb.).
- Risklerin olasılık ve sonuçlarının değerlendirilmesi.
- Tehlikelerin ortadan kaldırılma veya azaltılabilme yollarının tanımlanması.
- Beklenmedik ani gelişen olaylarla başa çıkabilmek için acil durum planlarının tanımlanması.

Risk değerlendirmeleri gemiden gemiye transfer operasyonları öncesinde yapılan hazırlıkların en önemli parçalarından birisidir ve seyir halinde yapılan gemiden gemiye transfer operasyonlarının yanaşma manevraları açısından bakarsak; sınırlı olmamak üzere minimum aşağıdaki durumların değerlendirmesini içermelidir (STS Guide, 2013):

- Bağlama düzenleri (mooring arrangements) dahil gemilerin birbirlerine uygunlukları.
- Transfer operasyonunun yapılacağı bölgenin uygunluğu.
- Operasyonda görev alacak personelin yeterliliği, tecrübesi ve eğitim seviyesi.
- Planlanmış operasyon için gemilerin hazırlanması ve operasyon boyunca yeterli kontrolün sağlanması.
- Yeterli seyir emniyetinin sağlanması.
- Operasyonu gerçekleştirecek ve kontrol edecek yeterli sayıda personelin bulundurulması.
- Gemiler arasında uygun ve yeterli bir haberleşmenin sağlanabilmesi.
- Usturmaçalar dahil gerekli ekipmanlar.
- Beklenen çevresel hava ve deniz koşulları.
- Acil durum planlamaları ve prosedürleri.

Risk değerlendirmesinin operasyon süresince amacına hizmet ettiğinden emin olmak adına riskler ve alınmış olan önlemler periyodik olarak kontrol edilmelidir. Belirlenmiş riskler içerisinde herhangi bir durum değiştiğinde veya yeni bir risk belirdiğinde risk değerlendirmesi güncellenmelidir (STS Guide, 2013).

Risk değerlendirmesinde halihazırda mevcut bulunan risk azaltma önlemleri, etkinlikleri ve risk olasılığını veya etkilerini değiştirebilecek diğer faktörler de dikkate alınmalıdır. Operasyona başlamadan önce risk değerlendirmesinde tanımlanmış olan tüm tehlikeler için azaltıcı önlemlerin alındığı ve risklerin kabul edilebilir seviyeye indirildiğinden emin olunmalıdır (STS Guide, 2013).

1.1.5 Gemiler Arası Haberleşme

Operasyona konu gemiler arasında etkili bir haberleşmenin tesis edilmesi transfer operasyonunun emniyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi açısından önemlidir. Yedek haberleşme ve acil haberleşme yöntemleri dahil, gemiler arasındaki haberleşme yöntemleri operasyon öncesinde belirlenerek test edilmeli ve tüm partiler tarafından mutabık kalınmalıdır. Mümkün ilk fırsatta operasyona konu gemilerin aralarında haberleşmeyi tesis etmeleri, operasyonun planlanması ve transfer pozisyonunun doğrulanması açısından uygun olacaktır (STS Guide, 2013).

Operasyon öncesinde tüm partilerin rahatlıkla anlaşabileceği ortak bir lisan dili belirlenmelidir. Haberleşme sırasında Standart Deniz Haberleşme İfadeleri (Standart Marine Communication Phrases-SMCP) kullanılabilir. Gemiler arası haberleşmede herhangi bir lisan problemi yaşandığı tespit edilirse, gemiler arasında etkili iletişimi kurabilecek yeterlilikte lisan sahibi bir kişi belirlenene kadar operasyon durdurulmalıdır (Port of Gothenburg STS Manual, 2018).

Denizde yapılan gemiden gemiye transfer operasyonları başlamadan önce ve başladıktan sonra yerel gerekliliklerin istediği belirli aralıklar ile çok yüksek frekanslı telsiz cihazı (Very High Frequency-VHF) zerinden emniyet mesajı yayınlanması

gerekmektedir. Bu mesajın yayınlanması operasyon amiri veya yetkili diğer bir kişi tarafından yapılabilir. Liman içerisinde yapılan transfer operasyonlarında raporlama gerekliliği ile ilgili olarak yerel otoritelerin kuralları takip edilmelidir. Operasyonun tamamlanması ile birlikte seyir uyarısı iptal edilmelidir (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Umuma yapılan bu mesajın içeriği şu bilgileri içermelidir (STS Guide, 2013):

- Transfer operasyonuna konu gemilerin isimleri.
- Transfer operasyonunun pozisyonu.
- Operasyonun başlangıç zamanı ve tahmini operasyon süresi.
- Diğer gemilerden talep edilen neta alan.

Gemiler transfer bölgesine yaklaştıkları sırada uygun telsiz menzili içerisinde çok yüksek frekanslı telsiz cihazı (VHF) ile kanal 16 üzerinden ilk bağlantıyı sağlayarak, daha sonraki haberleşmenin devamı için mutabık kalınan bir başka telsiz kanalına geçiş yapılmalıdırlar. Gemiler arasında etkili bir haberleşme sistemi tesis edilmeden yaklaşma, bağlama ve ayrılma manevralarına başlanılmamalıdır. Yaklaşma manevrası başlamadan önce her iki gemi de ilgili STS kontrol listelerinin tamamlandığını teyit etmelidir. Sorumlu manevra zabıtlarına gemi içerisinde etkili bir haberleşmenin tesis edilebileceği taşınabilir telsiz cihazları verilmeli ve bu cihazlar operasyon öncesinde test edilmelidir. Eğer gemiler arası haberleşmede VHF yerine taşınabilir radyolar kullanılacaksa, her iki gemideki radyoların aynı frekans üzerinde çalışabildikleri test edilmelidir. Eğer gerekli görülürse gemiler arasında, aynı frekansta çalışan taşınabilir radyo değişimi operasyon öncesinde yapılmalıdır. Karışıklığı önleme adına gemi içerisinde yapılan haberleşmeler, ortak haberleşme frekansı dışında bir frekans üzerinden yapılmalıdır (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Operasyonun herhangi bir aşamasında, kararlaştırılmış olan haberleşme sisteminde sorun yaşanır ise acil durumda kullanılmak üzere kararlaştırılmış olan haberleşme sistemi kullanılmalıdır. Eğer yaklaşma manevrası esnasında etkili haberleşmenin

sağlanmasında sorunlar yaşanır ise yaklaşma manevrasının iptal edilmesi de düşünülmelidir (STS Guide, 2013).

1.1.6 Yanaşma Manevralarında Kullanılan Ekipmanlar

Seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarında kullanılan ekipmanları genel olarak usturmaçalar, bağlama ekipmanları, aydınlatma ekipmanları ve diğer yardımcı ekipmanlar olarak sıralayabiliriz.

Usturmaçalar; yani fenderlar gemiler arasında oluşan kuvvetleri absorbe ederek minimuma indirir. Yani gemiler arasında tampon oluşturarak gemi saçlarının birbirlerine dokunmalarını bu vesile ile hasarlanmaları önlemede faydalanılırlar. Transfer operasyonlarında kullanılan bu usturmaçalar genellikle yüksek basınçlı olarak hava basınçlı veya köpük dolu malzemeden yapılmış tipte olmaktadır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Usturmaçalar birincil usturmaça (primary fender) ve ikincil usturmaça (secondary fender) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Birincil usturmaçalar gemilerin paralel borda uzunluklarının başladıkları ve devam ettikleri bölge arasında kullanılıyorken, ikincil usturmaçalar ise bağlama ve ayrılma manevraları esnasında gemilerin baş ve kıç taraflarını temas hasarlarından korumak amaçlı bu bölgelerde kullanılan ve birincil usturmaçalara kıyasla daha ufak olan usturmaçalardır. Birincil usturmaçalar birbirlerine bağlı ve su yüzeyinde yüzer vaziyette konumlandırılırken, ikincil usturmaçalar ise su seviyesinden yukarıda, gemilerin inşa yapıları göz önünde bulundurularak, temas esnasında hasar oluşma ihtimali en yüksek görülen noktalar arasında konumlandırılırlar (Port of Gothenburg STS Manual, 2018).



Şekil 1.2 Ana geminin üzerine bağlanmış olan birincil usturmaçalar (Danpilot, 2020)



Şekil 1.3 Manevra yapan geminin baş tarafına bağlanmış olan ikincil usturmaça (STS guide, 2013)

Ana geminin üzerine bağlanmış olan birincil usturmaçaları gösterir fotoğraf Şekil 1.2’de, manevra yapan geminin baş tarafına bağlanmış olan ikincil bir usturmaça ise Şekil 1.3’de gösterilmiştir.

Gemiden gemiye transfer operasyonunda yer alacak olan gemilerin yüksek kalitede bağlama halatları, verimli kondisyonda bağlama ırgatları, geminin uygun pozisyonlarında iyi kondisyonda bağlama babaları, kapalı bağlama firdöndüleri ve loçalarına sahip olmaları gerekmektedir. Irgat kastanyola ayarları iyi durumda olmalı ve bağlama ekipmanlarının hepsi minimum emniyetli çalışma ağırlığını gösterecek şekilde, Bağlama Ekipmanları Kuralları kitabında (Mooring Equipments Guideline) tanımlanmış şekilde markalı olmalıdır (STS Guide, 2013).

Gece yapılacak olan yanaşma manevralarında, gemilerin güverte aydınlatmaları normalde yeterli olacaktır. Güverte aydınlatmaları köprüüstünde seyir vardiyası tutan personelin emniyetli görüşünü engellemeyecek şekilde olmalıdır. Seyir halinde yapılan transfer operasyonları sırasında, başka gemiler ile yakın düşme durumları olursa seyir emniyeti açısından seyir fenerleri ile karıştırılmaması için aydınlatmalar kapatılmalı ve kargo operasyonu durdurulmalıdır (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Gece yapılan operasyonlar sırasında çekilmiş olan bir fotoğraf Şekil 1.4’de gösterilmektedir.



Şekil 1.4 Gece yapılan transfer operasyonlarında güverte aydınlatması (Kişisel arşiv, 2015)

Yanaşma manevraları sırasında yüksek gürültü çıkartan ekipmanlar eğer emniyetli haberleşmeyi olumsuz etkiliyorlarsa gerekli ses azaltıcı tedbirler ve mümkünse ses kaynaklarının izole edilmesi düşünülmelidir (STS Guide, 2013). rnek verilecek olursa; tankerlerin yanaşma ve ayrılma manevraları sırasında çalışmakta olan pompa dairesi fanları, kprst kırlangıçlarında bulunan gemi kaptanları ile kı tarafta manevra yapan personelin haberleşmeleri sırasında olumsuzluklara yol açabilir. Bu sebeple geçici olarak manevra tamamlanana kadar bu fanların stop edilmesi uygun bir hareket olacaktır.

1.2 Emniyet Tedbirleri

Gemiden gemiye transfer operasyonlarında alınması gereken emniyet tedbirlerini yanaşma ve ayrılma manevralarında alınması gereken tedbirler ile kargo operasyonları sırasında alınması gereken tedbirler olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Çalışmanın konusu doğrultusunda bu bölümde yanaşma manevraları sırasında alınması gereken emniyet tedbirlerine yer verilmiştir.

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarında tüm şartlarda her iki gemi kaptanı kendi gemilerinin personel, kargo ve ekipman emniyetlerinden sorumludurlar ve başkaları tarafından emniyetin tehlikeye atılmasına müsaade etmemelidirler. Gemi kaptanları; STS transfer guide içerisindeki prosedürlerin ve uluslararası kabul edilmiş emniyet tedbirlerinin uygulandığından her zaman emin olmalıdırlar (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Gemiden gemiye transfer operasyonlarında, her iki gemide de görevli personelin uygun kişisel koruyucu ekipmanı donattığından emin olunmadan yanaşma operasyonuna başlanılmamalıdır. Operasyona konu her iki gemide de acil durum kaçış prosedürleri hazır olmalıdır. Başka bir deniz aracına transfer için deniz tarafındaki borda iskelesi kaçışa hazır, can filikaları ve can salları gemiyi terk için denize indirilmeye hazır olmalıdır. Eğer ki gemilerin bağlama düzeninden dolayı can kurtarma araçlarının kullanımı engelleniyorsa bağlama planı bunu engellemeyecek şekilde düzenlenmelidir (STS Guide, 2013).

Yanaşma operasyonu sırasında gemilerden herhangi birisinin güvertesi veya manifold bölgesi civarında kargo gaz buharı birikimi tespit edilirse yanaşma manevrası iptal edilmeli ve gaz birikimi sonlanana kadar da devam ettirilmemelidir (Genel Denizcilik Nakliyatı Aş Ship to Ship Operation Plan, 2013).

STS transfer guide içerisinde alınması gerekli emniyet tedbirleri ile ilgili olarak listelenmiş aşağıdaki maddeler yanaşma manevraları sırasında da dikkate alınmalıdır (STS Guide, 2013):

- Jeneratör sistemlerinde oluşabilecek bir arıza veya ani güç taleplerini karşılayabilmek için yedek güç sistemleri hazır olarak tutulmalıdır.
- Gemi ana makine sistemleri hazır bir şekilde tutulmalıdır.
- Dümen donanımı STS operasyonu başlamadan önce her iki gemi tarafından test edilmelidir.
- Gemi ana makinesinde herhangi bir yakıt tipi değişimi yapılacaksa (Ör. yüksek sülfür içeren yakıttan düşük sülfür içeren yakıta geçiş) bu işlem STS operasyonu sırasında değil, öncesinde yapılmış olmalıdır.
- Gemi kazanlarının kurum tahliye (soot blowing) operasyonları manevra sırasında değil, STS operasyonuna başlamadan önce yapılmalıdır.
- Otoriteler ve bayrak devletleri tarafından aksi talep edilmediği müddetçe gemi Otomatik Tanımlama Cihazı (Automatic Identification System-AIS) transfer operasyonları süresince sürekli olarak açık tutulmalıdır.
- Radar cihazı tankerlerin liman operasyonlarında normal olarak kapatılmaktadır. Fakat STS operasyonu doğası gereği deniz üzerinde ve seyir halinde yapılabilen bir operasyon olduğu için radar cihazının açık tutulması seyir emniyeti açısından gerekli olabilmektedir. Fakat bazı durumlarda, özellikle bir büyük gemi ve nispeten ufak bir geminin transfer operasyonu yaptığı durumlarda, ufak geminin radar dalgaları büyük gemi güvertesindeki tehlikeli gaz bölgeleri içerisinden geçiş yapabilir ve tehlikeye yol açabilir. Bu gibi durumlarda ufak geminin radarlarının kapatılması ve seyir takibinin sadece büyük gemi radarından yapılması uygun olacaktır. Bu konu, operasyon öncesinde gemi kaptanları arasında görüşölüp karara bağlanmalıdır.

- Transfer operasyonunda yer alan gemilerin bordalarına önceden yetkilendirilmemiş hiçbir ufak bot, tekne yanaşmasına izin verilmemelidir.

1.2.1 STS Kontrol Listeleri

STS Kontrol listeleri operasyonun emniyetli bir şekilde tamamlanabilmesi için risk yönetimi kapsamında başvurulabilecek önemli yardımcılardandır. Kontrol listeleri dikkate alınması gereken kritik emniyet tedbirlerini göz önüne getirmesine rağmen bu tedbirler operasyon süresince görevli personelin farkındalığı ile desteklenmelidir. STS transfer guide da ekler bölümü içerisinde tanımlanmış olan 5 adet kontrol listesi bulunmaktadır (Port of Gothenburg STS Manual, 2018).

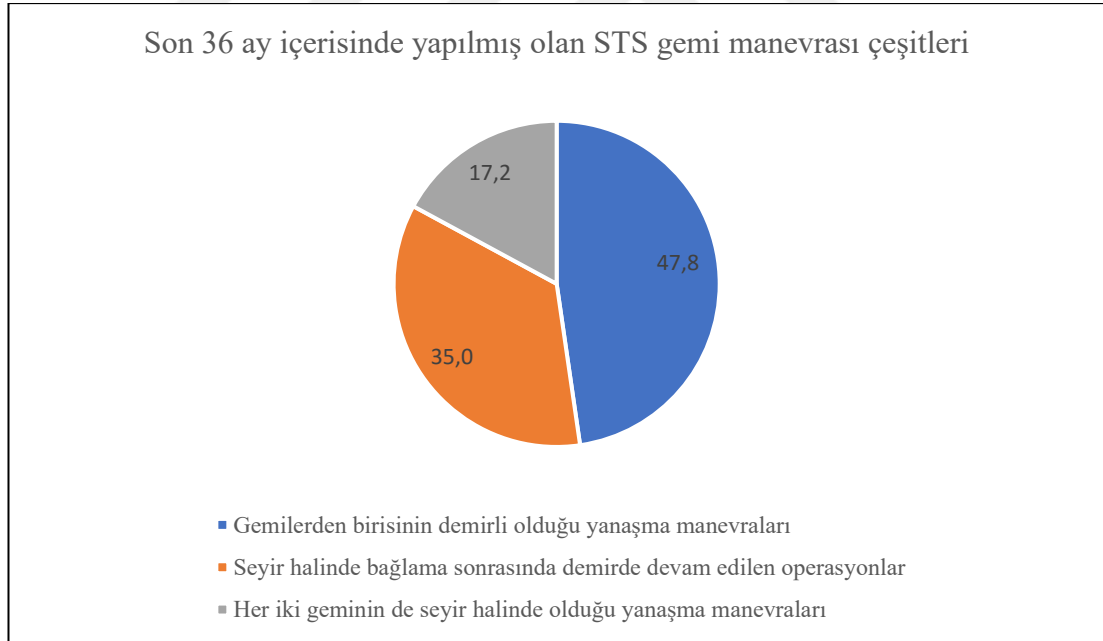
Kontrol listesi 1, STS planlayıcıları transfer operasyonu planladıkları zaman planlayıcılar tarafından doldurulmaktadır. Diğer 4 kontrol listeleri ise gemiden gemiye transfer operasyonları süresince her iki gemi tarafından tamamlanmaktadır. Gemilerin bağlama operasyonuna başlamadan önce her iki gemi de 2 ve 3 numaralı kontrol listelerini tamamladıklarını teyit etmelidirler. 4 numaralı kontrol listesi kargo transfer operasyonuna başlamadan önce tamamlanırken, 5 numaralı kontrol listesi ise ayrılma ve kalkış manevrası öncesinde tamamlanmaktadır (STS Guide, 2013).

Gemiden gemiye transfer operasyonlarının yanaşma manevraları öncesinde her iki gemi tarafından tamamlanması gereken 2 ve 3 numaralı kontrol listeleri operasyonun emniyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gözden kaçabilecek gerekli kontrolleri ve emniyet tedbirlerini hatırlatarak, her iki gemi arasında mutabık kalınmasına yardımcı olmaktadır. Örneğin; manevrada gemiler arası haberleşmenin sağlanacağı ana ve yedek haberleşme sistemlerinin belirlenmesi, konuşulacak haberleşme lisanının belirlenmesi, manevra planının görüşülerek anlaşıldığının teyit edilmesi, hava raporlarının kontrol edildiğinin teyit edilmesi, çevredeki gemilerin uyarılması için umuma seyir uyarısı mesajının yayınlandığının teyidi, birincil ve ikincil usturmaçaların uygun şekilde pozisyonlandırıldığının teyidi, gece operasyonları için yeterli aydınlatmanın sağlanması gibi.

1.3 Gemi Manevrası Operasyonları

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları deniz üzerinde her iki gemi seyir halinde iken yapılabileceği gibi, gemilerden birisinin veya her ikisinin de demirleyebileceği şekilde demir üzerinde de yapılabilmektedir. Ayrıca gemilerden birisinin rıhtıma bağlı olduğu ve deniz tarafında kalan bordasına diğer bir geminin yanaşması ile yapılan manevralarda gemiden gemiye transfer operasyonu olarak (double banking) değerlendirilmektedir (Zenios, 2016).

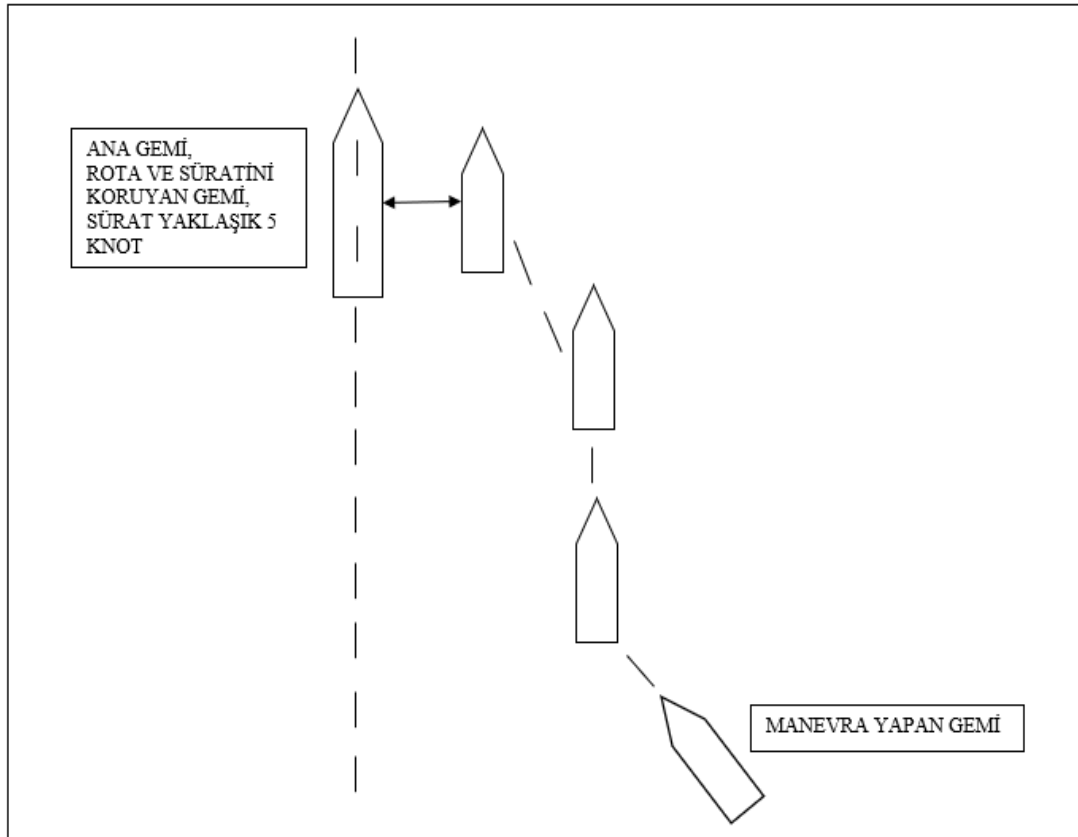
Yapılmış olan gemiden gemiye tanker operasyonlarının dağılımı ile ilgili olarak OSIS (Online STS Assessment Database-onlinests.net) web sitesi üzerinde son 36 ay içerisindeki kayıtlı operasyonların dağılımını gösterir Şekil 1.5 aşağıdaki gibidir (doublebanking yani gemilerden birisinin rıhtıma bağlı olduğu vaziyette yapılan operasyonlar istatistiklere dahil edilmemiştir):



Şekil 1.5 Son 36 ay içerisinde yapılmış olan STS gemi manevrası çeşitleri (Onlinests, son güncelleme: 11.11.2020)

1.3.1 Her İki Geminin de Seyir Halinde Olduğu Yanaşma Manevraları

Bu manevrada operasyona konu gemilerden birisi ki bu genellikle tonajı büyük olan gemidir, düşük bir süratte sabit bir rota üzerinde ilerler. Yerel hava, deniz şartları ve bölge ile ilgili spesifik tecrübeler takip edilecek olan rotanın belirlenmesi aşamasında dikkate alınır. Sonrasında manevra yapacak olan gemi, genellikle ufak tonajlı gemi, büyük geminin yanaşılacak tarafındaki kıç omuzluk hizasını pruvasına alarak harekete geçer ve bölgedeki şartlar ile eski tecrübeler ışığında uygun bir mesafe kala büyük gemiye paralel duruma gelecek şekilde rotasını değiştirir. Manevra yapan ufak gemi uygun dümen ve makine kumandaları ile büyük gemi ile aralarında olan yatay ve düşey mesafeyi uygun şekilde düşürür ve bu aşamada her iki geminin süratleri birbirine eşitlenir. Paralel duruma geldiklerinde ise manifoldların bağlantı hizaları birbirine uygun olacak şekilde gemiler birbirlerine bağlanırlar. Bu manevrayı örnek olarak Şekil 1.6'daki gibi şematize edebiliriz (Xiang, Skejic, Faltinsen ve Berg, 2011):



Şekil 1.6 Her iki geminin seyir halinde olduğu yanaşma manevrası aşamaları (STS guide, 2013)

STS guide içerisinde bu manevra şeklinde gemilerin kontrol etmesi ve bağlama manevraları ile ilgili olarak aşağıdaki tavsiyeler bulunmaktadır (STS Guide, 2013):

- Her iki geminin tüm seyir ve haberleşme cihazları çalışır ve iyi kondisyonda olmalıdır. Dümenci olarak tecrübeli bir personel tercih edilmelidir.
- Makine ve dümen kumandaları gemi köprüüstünden, uzaktan kumanda edilebilir olmalıdır.
- Yaklaşma manevrası esnasında gemiler arasındaki sürat bilgisi paylaşımının yere göre sürat mi yoksa suya göre sürat mi olacağı operasyon öncesi gemiler arasında mutabık kalınmalıdır.
- Hassas sürat ayarlamaları mümkün mertebe makine devir sayısı veya pervane pitch i kontrol edilerek ayarlanmalıdır. Bu şekilde ayar yapılması daha hassas kontrol sağlayacaktır. Bunun yerine makine telgrafı kullanılarak örneğin pek ağır yol dan ağır yola yada tam tersi şekilde sürat değiştirmelerinde, komut aralarındaki devir sayılarının daha fazla olması sebebiyle hassas ayar yapılırken sorun yaşanabilir.
- Büyük gemi süratini, manevra yapan gemi kaptanı veya atanmış ise operasyon amiri tarafından talep edilen sürat değerine ayarladıktan sonra tekrar yeni bir talep gelmediği müddetçe değiştirmemelidir.
- Gemi makinelerinin arka arkaya çalıştırılabilmelerine müsaade eden çalışma havası sınırlamaları operasyon öncesinde paylaşılmalıdır.
- Manevra yapan nispeten küçük geminin, yaklaşımda büyük gemiyle oluşturacağı açının çok büyük olmaması gerekmektedir.
- Gece yapılan bağlama manevraları doğası gereği daha fazla risk barındırmaktadır. Bu sebeple güverte aydınlatmalarının iyi yapılması, gerekiyorsa usturmaçaların da aydınlatılması gerekmektedir.
- Gemilerin yanaşma taraflarında bordadan dışarıya sarkmış herhangi bir engel bulunmamalıdır.
- Her iki gemide köprüüstü ile bağlama istasyonlarında bulunan personel arasında etkili bir haberleşme tesis edilmeli ve manevraya başlamadan önce test edilmelidir. Haberleşme sisteminde yaşanabilecek arızalara karşı yedek haberleşme sistemi de yine operasyon öncesinde belirlenmelidir.

- Her iki gemi kaptanı arasında, gemi içerisinde yapılan haberleşme frekansından farklı bir frekansta, etkili haberleşmelerini sağlayacak bir haberleşme sistemi tesis edilmelidir.
- Gemi kaptanlarından birisi veya atanmış ise operasyon amiri tarafından manevra emniyeti açısından en ufak bir şüphe mevcut ise bağlama operasyonundan vazgeçilmelidir.
- Operasyon süresince her iki gemi, emniyetli bir seyir gözcülüğünün yapılması açısından sorumludur.
- Gemilerin manevra karakteristikleri ve transfer bölgesindeki hava, deniz ve önceki edinmiş tecrübelerin harmanlanması sonucunda en uygun manevra yaklaşma rotası ve sürati belirlenmelidir. Genel olarak yaklaşım manevralarında gemilerin rüzgar ve denizleri iskele baş omuzluk hizalarından almaları istenir. Bu sayede usturmaça halatlarına binen yükte azalmış olacaktır.
- Gemilerin birbirlerine yaklaşım manevrası esnasında gemiler arasında etkileşimlerin olabileceği unutulmamalıdır. Bu sebeple yaklaşım esnasında gemilerin bu etkileşime cevap verebilecek dümen manevralarını uygulayabilmeleri açısından gemi makinelerinin ileri yolda çalıştırılması gerekmektedir.
- Hareket halinde transfer operasyonu yapacak olan gemilerin 5 deniz mili veya altındaki süratlerde manevra yapabilecek kabiliyete sahip olmaları gerekmektedir. Manevra yapan küçük gemi büyük gemiye göre daha yüksek bir minimum sürate sahip olduğu zamanlarda sürat dengelemesini yapabilmek adına küçük geminin makinesi ile çalıştırma ve durdurma işlemlerini çok fazla uygulamak yerine, büyük gemiden sürat arttırması talep edilebilmektedir. Fakat süratin arttırılması durumunda gemiler arasındaki etkileşimin ve usturmaça halatları üzerindeki yükün de artacağı unutulmamalıdır.

Yanaşma manevrası esnasında operasyona konu olan gemiler birbirlerine oldukça yakın bir mesafe içerisinde etkileşimde olacakları için manevra karakteristikleri de tek gemi iken olandan farklılık gösterecektir. Bunun sebebi ise gemiler arasındaki hidrodinamik etkileşim sebebiyle beklenmeyen bir anda ve ani olarak gemilerin rotalarının değişiklik gösterebilmesidir. Bu durum gemiler arasında temas yani

Çatışma riskini doğurduğu için operasyon emniyeti ve verimliliğini dşşrmektedir (Xiang ve diğer., 2011).

Her iki geminin de seyir halinde olduğu yaklaşma manevralarında, gemiler arasındaki gerekli emniyet mesafesini ayarlayarak, birbirlerine göre bağlama pozisyonuna getirmek için yapılan gemi manevrası çatışmadan kaçınma manevrası olarakta değerlendirilebilmektedir. En yaygın karşılaşılan STS kazası, yanaşma manevralarında gemilerin birbirlerine yaklaşmaları sırasında meydana gelen çatışma kazalarıdır (Witkowska, Smierzchalski ve Wilczynski, 2017).

Gemiden gemiye transfer operasyonlarında görev almış tecrübeli bağlama kaptanları, doğru mesafe ve sürat bilgilerinin manevra yapan gemiler tarafından ulaşılabiliyor olmasının yaklaşım manevralarının emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmesinde etkisinin yüksek olduğunu önermektedirler (Pedersen ve diğer., 2008).

T.Abramowicz, A.Hejmlich ve P.Wilczynski tarafından yapılan akademik çalışmaya göre eski yaşanmış kazalardan edinilen tecrübeler ışığında, her iki geminin de seyir halinede olduğu gemiden gemiye transfer operasyonlarında yaşanılan kazalarda; ana etken gemi manevrası kaynaklı kusurlar olduğu belirtilirken aynı zamanda insan hatasının da yaşanan kazalarda etken olabileceği belirtilmiştir. Gemi personelinin sadece iyi eğitilmiş ve tecrübeli olmasının yeterli olmadığı, aynı zamanda fiziksel ve mental olarak da yapılacak işe hazır olması durumunun yaşanan STS yaklaşma manevralarındaki kaza riskini ciddi miktarda azaltabileceği belirtilmiştir (Abramowicz, Hejmlich ve Wilczynski, 2018).

Yaklaşım manevralarında çatışma kazaları genellikle manevra yapan geminin yaklaşım açısını uygun ayarlayamaması, yaklaşımın aşırı yüksek süratlerde gerçekleştiriliyor olması, gemilerden birisi veya her ikisinde transfer bölgesindeki hava ve deniz şartlarını uygun şekilde değerlendirememesi ve insan hatası gibi nedenlerin bir veya birkaçının biraraya gelmesi ile meydana gelebilmektedir (Witkowska ve diğer., 2017).

A.Witkowska, R. Smierzchalski ve P.Wilczynski tarafından 2017 senesinde gerçekleştirilen çalışmaya göre, yaklaşma manevrasının planlanması sırasında dönüş pozisyonları ve her rota bacağındaki sürat bilgilerinin önceden gemi manevra karakteristikleri kitapçığındaki bilgiler dikkate alınarak planlanması; manevra sırasında manevra yapan gemideki personele rota değişikliklerinde kaçır derecelik dümen açısı kullanılması gerektiği ve rota bacaklarında makine pozisyonunun hangi durumda çalışması gerektiği gibi konularda destek sağlayarak çatışma riskini azaltacaktır (Witkowska ve diğer., 2017).

Şekil 1.7’de seyir halinde olan iki tankerin yanaşma manevrası sırasındaki kuş bakışı çekilmiş fotoğraf görülmektedir.



Şekil 1.7 Her iki geminin seyir halinde olduğu yaklaşma manevrası (Husjord ve Pedersen, 2010)

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları sırasında gemiler arasında, özellikle yanaşma manevraları esnasında oluşan hidrodinamik etkilerin tespit edilmesi ve risklerin azaltılmasına yönelik çalışmalar son dönemde artış göstermektedir. Hidrodinamik etkilerin ne olduklarının tespit edilebilmesi operasyonların emniyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmeleri için oldukça önemlidir. Bu etkiler uygun bir şekilde

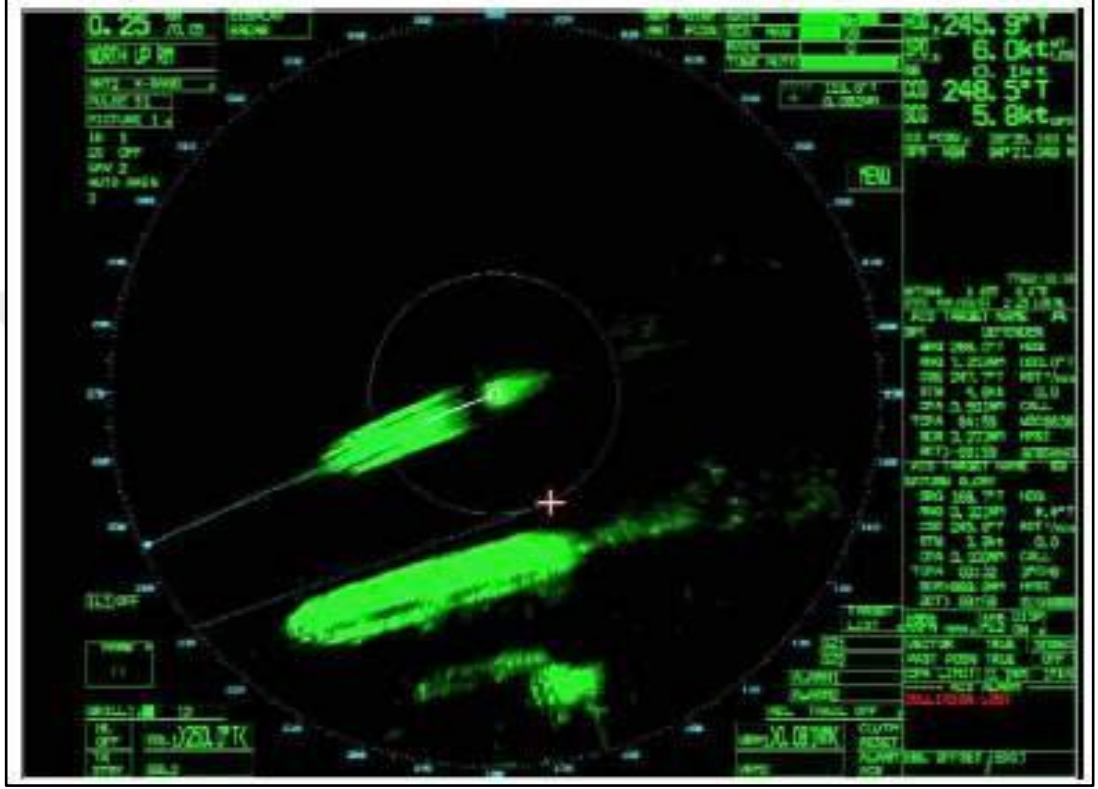
ortaya konulabilirse, gemi kaptanları veya bağlama kaptanları tarafından öngörülebilir ve zamanında harekete geçilmesine yardımcı olur. Bu etkilerin belirlenebilmesi adına simülör ortamlarında çalışmalar yapılabilir fakat bu çalışmaların maliyetleri oldukça yüksek olabilmekte ve mevcut simülörlerin yeterliliği ve güvenilirliği sorgulanabilmektedir. Bu sebeple simülör ortamında bu zamana kadar geliştirilmiş olan çalışmalar istenilen sonuçları elde edememiştir, bu yüzden gemiler arası etkileşim üzerine daha detaylı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Decker, 2006).

Yaklaşım ve bağlama manevraları esnasında gemiler arasında meydana gelecek olan hidrodinamik etkileşimin ölçüsünün, Skejic ve Faltinsen tarafından 2007 senesinde yapılmış olan bir çalışmada şu faktörlere bağlı olarak değişeceği belirtilmiştir: Gemilerin büyüklükleri, gemiler arasındaki yanal ve boylsal açıklık mesafeleri, gemilerin süratleri, su altına kalan omurga yapıları, deniz derinliği, yakınlardaki bir sığ su kanalından olan uzaklık (Skejic ve Faltinsen, 2007).

Sano ve Yasukawa tarafından yapılmış olan çalışmada ise klasik STS yaklaşım manevraları ile reverse yani ters yaklaşım manevralarında gemiler arasında oluşan hidrodinamik etkileşimlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda reverse transfer operasyonlarında servis gemisinin yaklaşım esnasında klasik yaklaşım manevralarına göre ana gemiyle paralel duruma gelebilmek için yaklaşım açısını ayarlarken daha çok zorlandığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise gemiler arasında etkileşim kuvvetlerinin reverse transfer operasyonlarında daha fazla olması gösterilmiştir (Sano ve Yasukawa, 2019).

Husjord ve Pedersen tarafından yapılmış olan çalışmaya göre radar cihazı, gemiden gemiye transfer operasyonları yaklaşım manevralarının yaklaşım aşamasında bağlama kaptanının başvuracağı ana seyir yardımcısı olacaktır. Fakat gemiler arası mesafe yarım deniz mili altına indiğinde radar sisteminde elde edilecek verilerin yardımı azalacaktır ve bu aşamadan sonra göz ile saptanan tahminler ve bağlama kaptanının eski tecrübeleri ışığında manevra sürdürülecektir. Yine bu çalışmaya göre son yaklaşım aşamasında, gemiler yan yana hizaya yaklaştıklarında ve aralarındaki mesafe yaklaşık bir gemi genişliği kadar olduğunda bağlama kaptanı köprüüstü kırlangıçlarına çıkarak,

el telsizi ile haberleşmeyi sağlamak sureti ile manevrayı buradan yönlendirmeye devam etmektedir. Şekil 1.8’de her iki geminin de seyir halinde olduğu STS yanaşma manevrası sırasındaki radar ekran görüntüsü bulunmaktadır (Husjord ve Pedersen, 2010).



Şekil 1.8 Her iki geminin seyir halinde olduğu yaklaşım manevrasını gösteren radar görüntüsü (Husjord ve Pedersen, 2010)

1.3.1.1 Yanaşma Manevrası Sonrasında Kombine İki Geminin Demirleme Manevrası

Bağlama manevraları emniyetli bir şekilde tamamlandıktan sonra iki gemi artık tek bir gemi sistemi olarak düşünülür ve eğer transfer operasyonuna demir atılarak devam edilecek ise bundan sonraki tüm hareketler büyük geminin makinesi kullanılarak yapılır. Bu sırada manevra yapan küçük geminin makinesi stop pozisyonda ve dümeni ise ortalanmış pozisyonda bırakılır. İki gemi sistemi ile manevra yapılırken, manevra yapan küçük geminin sorun ile karşılaşmaması açısından büyük geminin yapacağı makine ve dümen manevraları mümkün mertebe küçük olmalıdır. Özellikle de demir

manevrası esnasında yüksek tornistan manevralarından kaçınılmalıdır. Suya göre gemi sürati minimum tutulmaya çalışılmalıdır (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Demirleme için büyük olan gemi, küçük geminin kendisine bağlı olduğu borda tarafının tersi tarafından demirini atmalıdır. Demirleme sonrasında her iki gemi de Eğitim, Sertifikasyon ve Seyir Vardiyası Standartları Yönetmeliği (Standards of Training, Certification and Watchkeeping-STCW) kapsamında gerekli olan seyir vardiyası düzenlemelerini yerine getirmekten sorumludur (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Şekil 1.9’da demirde yapılan gemiden gemiye transfer operasyonuna örnek görülmektedir. Seyir halinde iken yapılan yanaşma manevrası sonrasında ana gemi yani gemilerden büyük olanı demirleyerek operasyona demir üzerinde devam edilmektedir.



Şekil 1.9 Demirde yapılan gemiden gemiye transfer operasyonu (Aktishydraulics, 2020)

1.3.1.2 Yanaşma Manevrası Sonrasında Seyir Halinde Devam Edilen Transfer Operasyonları

Bazı özel transfer bölgelerinde su derinliklerinin demir atılması için elverişli olmaması nedeniyle, bağlama manevrası sonrasında kargo transfer operasyonlarına seyir halinde devam edilmektedir. Bu tarz transfer operasyonları için yeterli emniyetli deniz sahasının bulunması, bölgedeki gemi trafik yoğunluğunun uygun olması ve hava şartlarının uygun olması gibi özel durumlar aranmaktadır. Eğer mümkün ise gemiler sınırları belirlenmiş manevra alanlarında transfer operasyonlarını gerçekleştirmelidirler. Gemilerin suya göre sürati bölgedeki şartlara uygun minimum sürat olacak şekilde ayarlanmalıdır. Büyük gemi makinesi düşük süratte çalışır vaziyette rotasını sabit bir rota üzerinde tutarken, manevra yapan küçük geminin makinesi stopta ve dümeni orta pozisyonda konumlandırılır ve manevralar büyük gemi makinesi üzerinden gerçekleştirilir. Bağlama halatları üzerindeki yükü minimum seviyede tutabilmek adına, büyük geminin yapacağı makine ve dümen kumandaları kademe kademe ve minimum seviyede olmalıdır. İzlenecek rota her iki gemi kaptanı ve varsa operasyon amiri tarafından mutabık kalınmalı ve gemilerin bağlı vaziyette rota üzerinde ilerlerken birbirlerine göre minimum hareket etmelerini sağlayacak bir rota tercih edilmelidir (STS Guide, 2013).

Alternatif olarak çok düşük süratlerde çalıştırılabilecek makine donanımları ile donatılmış (Ör. Kontrol edilebilir pitchli pervane, *Controllable Pitch Propeller-CPP*) olan gemilerinde, gemi manevrası manevra yapan ufak geminin makinesi kullanılarak yapılabilir. Bu gibi durumlarda gemiler arasındaki bağlama planı uygun şekilde düzenlenmeli ve ilave koltuk halatlarının (spring lines) donatılması düşünülmelidir (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Pruvadan alınan denizlerde operasyon yapılırken, usturmaçaların hasarlanmamasına dikkat edilmeli ve böyle durumlarda rota ayarlaması yapılarak denizlerin tam kafadan alınması önlenmelidir (STS Guide, 2013).

1.3.2 Gemilerden Birisinin Demirli Olduğu Yanaşma Manevraları

Hali hazırda demirlemiş olan bir geminin, demir attığı borda tarafının tersi tarafına başka bir geminin yaklaşarak bağlamasıyla yapılan transfer operasyonları da günümüzde sık rastlanan bağlama çeşitlerindendir. Bu operasyonlarda demir atan geminin kaptanı üzerine bağlayacak olan gemi ile birlikte demirin üzerine binecek yük artışını da hesaba katarak, derinlik ve hava şartlarını da dikkate alıp atılacak zincir kilit sayısını belirlemelidir (Zenios, 2016).

Manevra yapacak küçük geminin yaklaşma ve bağlama işlemi, büyük geminin demirleme işlemi tam olarak tamamlandıktan ve demirleme sonrasında pruvası sabit bir dereceye ulaştıktan sonra yapılmalıdır. Akıntının değişiklik göstereceği zaman aralıklarında yanaşma manevraları yapılmamalıdır (Zenios, 2016).

Yaklaşma manevrası sırasında demirdeki büyük gemi pruvasını sürekli takipte olmalı ve herhangi bir değişiklik veya bir tarafa dönme eğilimi gözlemlemesi durumunda manevra yapan gemiyi bilgilendirmelidir. Eğer bir tarafa doğru hızlı bir dönme söz konusu oluyorsa, demirli gemiyi sabit tutabilmek adına romörkör desteği alınabilir veya bağlama manevrası ertelenebilir. Manevra yapacak küçük gemi için romörkör kullanımı gerekliliği risk değerlendirmesi sırasında operasyon planlayıcıları tarafından gözden geçirilmelidir. Rüzgar ve akıntının farklı yönlerden etki ettiği veya rüzgar yön ve şiddetinin çok sık değiştiği durumlarda, demirli geminin hareket etmesi sebebiyle manevra yapan küçük geminin manevrası da etkilenebilir ve bu durumlarda romörkör kullanımı yerinde olabilir (STS Guide, 2013).

1.3.3 Liman Sınırları İçerisinde Yapılan Yanaşma Manevraları

Liman sınırları içerisinde de bir çok gemiden gemiye transfer operasyonları gerçekleştirilebilmektedir. Bunların en yaygın olanı yakıt ikmal transferleridir (bunkering). Ayrıca kimyasal madde taşıyan gemilerin boyutları, petrol türevi taşıyan gemilerin boyutlarına göre nispeten daha küçük olduğu için ve deniz ile hava şartlarından daha az etkileneleceğinden; kimyasal maddelerin transfer edileceği

gemiden gemiye transfer operasyonlarının liman sınırları içerisinde gerçekleştirilmesi tercih edilmektedir. Liman sınırları içerisinde yapılan operasyonlarda gemilerden birisi limana bağlı vaziyette olabilir veya uygun bir demir bölgesinde demirlemiş durumda olabilir (STS Guide, 2013).

Liman sınırları içerisinde yapılacak olan operasyonlardan önce ilgili otoriteden izin alınması gerekebilir. Eğer operasyon amiri atanmış ise bu kişi gemilerin liman sahasına tahmini varış zamanlarını takip etmeli ve bu doğrultuda ilgili otoriteleri bilgilendirmelidir (Zenios, 2016).

Liman sınırları içerisinde yapılan operasyonların birçoğunda yanaşma manevrası için pilot ve/veya romörkör kullanılması da otorite tarafından zorunlu tutulabilir (STS Guide, 2013).

1.3.4 Gemilerden Birisinin Rıhtıma Bağlı Olduğu Yanaşma Manevraları (Double Banking)

Bu tür operasyonlar bazı bölgelerde yaygın olarak görülen, rıhtıma bağlı olan bir geminin üzerine bir veya daha fazla geminin bağlanarak yük transfer operasyonlarının yapılmasıdır. Bu tip operasyonlar genel olarak double banking operasyonları olarak isimlendirilmektedir (STS Guide, 2013). Bu tür operasyonlara örnek olarak Şekil 1.10'da görülen, Aliğa limanında bulunan Etki Liman da yapılan operasyonları gösterebiliriz.

Double banking transfer operasyonları için yaygın olarak kullanılmayan bir liman iskelesinde bu tarz bir operasyon planlandığı durumlarda; resmi mühendislik çalışmaları ve risk değerlendirmeleri yapılarak resmi operasyon prosedürleri ve emniyet planları operasyon öncesinde belirlenmelidir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).



Şekil 1.10 Etki Liman, Aliğa da yapılan double banking yanaşma manevrası (Etkiliman, 2020)

STS Guide a göre double banking transfer operasyonları planlanmadan önce aşağıda belirtilen hususlar operasyona konu partiler arasında görüşülmeli ve mutabık kalınmalıdır (STS Guide, 2013):

- Emniyetli yanaşma ve kalkış prosedürleri.
- Liman iskelesinin sağlamlığı, emniyetli çalışma yükleri de hesaba katılarak kullanılacak olan usturmaçalar ve bağlama araçları.
- Operasyona konu gemilerde acil kaçış yolları dahil personel giriş noktaları.
- Operasyonun emniyetli yönetimi.
- Operasyona konu tüm partilerin görev ve sorumlulukları.
- Acil durum planlaması, yangınla mücadele sistemleri ve acil kalkış planlaması.

Rıhtıma bağlı vaziyette olan geminin kaptanı, kendi gemisinin deplasmanı ve üzerine bağlayan gemilerin deplasmanı ile birlikte oluşacak olan toplam deplasman büyüklüğünün farkında olmalıdır ve gemilerin bağlanma planlaması bu doğrultuda yapılmalıdır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

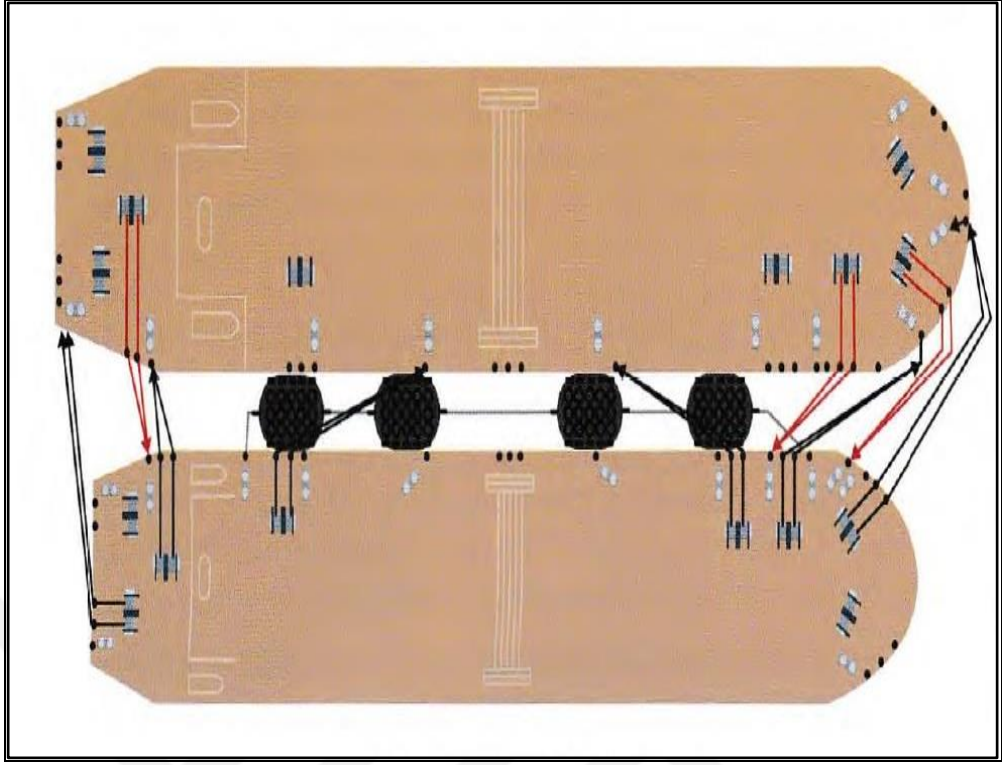
1.3.5 Bağlama Operasyonları

Bağlama manevrası sırasında gemiler arasında halatların gönderilmesi işlemi emniyetli şekilde gerçekleştirilmelidir. Bağlama halatları önceden belirlenmiş olan bağlama planına uygun olarak donatılmalıdır (Port of Gothenburg STS Manual, 2018).

Operasyonlar için bağlama planları belirlenirken gemilerin tonajları ve birbirlerine göre nispi tonaj farklılıkları, su seviyesi üzerinde kalan borda yükseklik farklılıkları, transfer bölgesindeki hava ve deniz şartları ile birlikte bağlama ekipmanlarının kondisyon durumu dikkate alınmalıdır. Birçok STS hizmet sağlayıcısı firma farklı transfer bölgelerine özel bağlama planları geliştirmiştir. Bağlama sistemi ile ilgili olarak en önemli husus, sistemin gemilerin nispi hareketlerine ve bordasal yükseklik değişikliklerine karşı oluşabilecek aşırı yüklere dayanıklı olabilmesidir. Aynı doğrultuda kumanda eden bağlama halatlarının aynı tip ve materyalde olmalarına özen gösterilmelidir (West of England PI Club Safety Alert).

Bağlama operasyonu için her iki gemide de en az 4 adet kılavuz halatı (rope messenger), bağlama locaları ve bağlama viçlerinde hazır tutulmalıdır. STS guide a göre büyük tonajlı gemiler arasında yapılan transfer operasyonlarında kullanılacak olan kılavuz halatlarının en az 40 mm çapında olmaları tavsiye edilmektedir. Halat tutucular (rope stoppers) bağlama babaları üzerine sabitlenerek hazır bulundurulmalıdır. Mümkün mertebe kullanılan el inceleri (heaving line) ve kılavuz halatları suda yüzer meteryalden yapılmış olmalıdırlar (STS Guide, 2013).

STS guide içersinde yer alan gemiler arasındaki bağlama düzenini gösterir şekil 1.11 aşağıdaki gibidir (STS Guide, 2013):



Şekil 1.11 Kırmızı halatlar büyük geminin halatları, siyah halatlar manevra yapan geminin halatları (STS Guide, 2013)

Şekil 1.11'e göre bağlama manevrası için bağlanacak olan halatların sırası, ayrılma manevrası için ise mola edilecek olan halatların sırası operasyon öncesinde belirlenmeli ve tüm partilerce mutabık kalınmalıdır. Bağlama sisteminde oluşabilecek bir soruna karşı ilave bağlama halatları her iki gemide de kullanıma hazır şekilde bulundurulmalıdır (STS Guide, 2013).

Operasyon öncesinde yapılan risk değerlendirmesi sırasında gemilerin bağlama analizi de yapılmalıdır. Bağlama analiz sonuçları aşağıdaki hususları belirlemede kullanılmalıdır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014):

- Gemiden gemiye transfer operasyonunun emniyetli çevresel çalışma sınırları.
- Transfer bölgesindeki rüzgar, deniz ve ölü dalga durumlarına göre gemilerin ilerleyeceği nominal sürat ve rota değerleri.
- Kargo transfer operasyonunun durdurulacağı ve gemilerin birbirinden ayrılmasını gerektirecek kriterler.
- Bağlama sistemi bileşenleri ve maksimum çalışma verimlilikleri.
- Kullanılacak olan usturmaçaların tip ve sayıları.

1.3.6 Ayrılma Manevraları

Ayrılma manevralarına başlamadan önce ilgili kontrol listeleri her iki gemi tarafından mutabık kalınarak tamamlanmalıdır. Manevra halatlarının hangi sırayla ve hangi metod kullanılarak mola edileceği hususu her iki gemi kaptanı ve manevra amiri personel tarafından iyi anlaşılmış olmalıdır. Ayrılma manevralarında gemiler arasında temas riski bulunduğu için dikkatli bir planlama yapılmalı ve uygulanmalıdır (Port of Gothenburg STS Manual, 2018).

1.3.6.1 Her İki Geminin de Seyir Halinde Olduğu Ayrılma Manevraları

Her iki geminin de seyir halinde olduğu transfer operasyonlarında gemilerin emniyetli ayrılma manevraları hava şartlarına göre şu seçenekler değerlendirilerek yapılır (STS Guide, 2013):

- Kuvvetli rüzgar estiği durumlarda kombine iki gemi sistemini borda yüksekliği yüksek olan gemi rüzgar altında kalacak şekilde döndürmek. Böylece borda yüksekliği fazla olan gemi rüzgar alanı fazla olduğu için rüzgar kuvvetinden daha fazla etkilenecek ve böylece gemilerin birbirinden ayrılması daha kolay olacaktır.
- Rüzgarsız yada ihmal edilebilir ölçüde rüzgar esen havalarda gemilerin ayrılma manevrası için pruvalarının ölü dalgaların geldiği yöne doğru döndürülmesi ayrılma sırasında gemi pruvalarının birbirinden ayrılmasında katkı sağlayacaktır.

Ayrılma manevrası esnasında gemilerin birbirine temasını önleyebilmek adına gemi süratleri mevcut hava şartları da göz önünde tutularak mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır. Gemi kaptanlarından halat mola talimatı gelene kadar bağlama ırgatlarının kastanyolaları sıkılı olmalı ve ırgat kavramaları yerlerine takılmamalıdır. Halatların mola edilme sırasına ayrılma operasyonu öncesinde, mevcut hava şartları da göz önünde bulundurularak karar verilmelidir. Bu planlama gemi pervanelerinin halatlardan en erken olarak neta olacak şekilde, gerektiğinde gemi makinesinin

kullanılmasına müsaadece sağlayacak şekilde olmalıdır (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Gemilerin birbirine temas etmeden ayrılmasına yardımcı olabilmek adına gemi pruvaları rüzgar veya ölü dalgaların geldiği yöne doğru çevirilmiş olması uygun olacaktır. Gemi pruvaları birbirinden ayrılmaya başladığı anda kış pozisyonlar ve usturmaça pozisyonları dikkatle kontrol edilmelidir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Ayrılma manevrası esnasında manevra yapan gemi, rotasını koruyacak olan geminin pruvasından geçmemelidir. Rotasını koruyacak gemi de, manevra yapan geminin manevrası bitmeden ve tamamen neta olmadan manevra yapmamalıdır (STS Guide, 2013).

Tüm bu tavsiyelere rağmen yerel şartlar ve gemilerin farklı konfigürasyonları gemilerin kolay bir şekilde ayrılmasını zorlaştırabilir ve ilave manevralar yapılmasını zorunlu kılabilir (STS Guide, 2013).

1.3.6.2 Gemilerden Birisinin Demirli Olduğu Ayrılma Manevraları

Bu durumdaki ayrılma manevraları demirli geminin hava şartları ve yerel akıntılardan hangisinin etkisinde olarak pruvasını döndürdüğüünün tespitinin güç olabilmesi sebebiyle zor manevralardır. Bu sebeple akıntı değişim zamanlarında ayrılma manevrasının yapılmaması tavsiye edilmektedir (STS Guide, 2013).

Demirde iken ayrılma manevraları zor manevralar oldukları için mümkünse bir operasyon amiri desteği sağlanabilir ve ayrıca gemilerde baş iter yok ise tranfer bölgesindeki mevcudiyetine göre romörkör kullanma desteği de sağlanabilir. Eğer romörkör desteği sağlanamıyorsa ayrılma manevrası ertelenebilir veyahut demirli olan gemi demirini vira yaparak, ayrılma manevrası her iki gemi de üzerinde yol olacak şekilde gerçekleştirilebilir (STS Guide, 2013).

1.3.6.3 Gemilerden Birisinin Rıhtıma Bağlı Olduğu Ayrılma Manevraları

Eğer gerekli ise bu tarz ayrılma manevralarına başlamadan önce liman başkanlığı veya bağlı olunan terminalden izin alınmalıdır. Ayrılma manevrasına başlamadan önce her iki gemi kaptanı da manevra detayları ve aşamaları hakkında mutabık kalmalıdır. Hava şartları ve akıntı durumu manevraya başlamadan önce dikkate alınmalıdır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

Ayrılma manevraları gece saatlerinde yapıldığı durumlarda yeterli aydınlatma sağlanırken, arka planda yansıyan güverte aydınlatmalarının emniyetli görüşü olumsuz etkilememesine de dikkat edilmelidir. Liman sınırları içerisinde yapılan manevralarda yerel kurallara göre kılavuz kaptan hizmeti ve/veya romörkör kullanımı zorunlu tutulabilir. Bu tarz operasyonlarda ilave palamar personeli hizmetinin varlığı araştırılmalı ve gerekli ise bu hizmetlerden faydalanılmalıdır. Rıhtıma bağlı olan geminin personeli bu bağlama manevralarında kullanılacaksa, geminin terminalde yapmış olduğu kargo operasyonunun emniyeti riske atılmamalıdır. Konu ile ilgili yerel mevzuatta dikkate alınmalıdır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

1.3.6.4 Hızlı Serbest Bırakma Düzenekleri (Quick Release Arrangements) Kullanılarak Halatların Mola Edilmesi

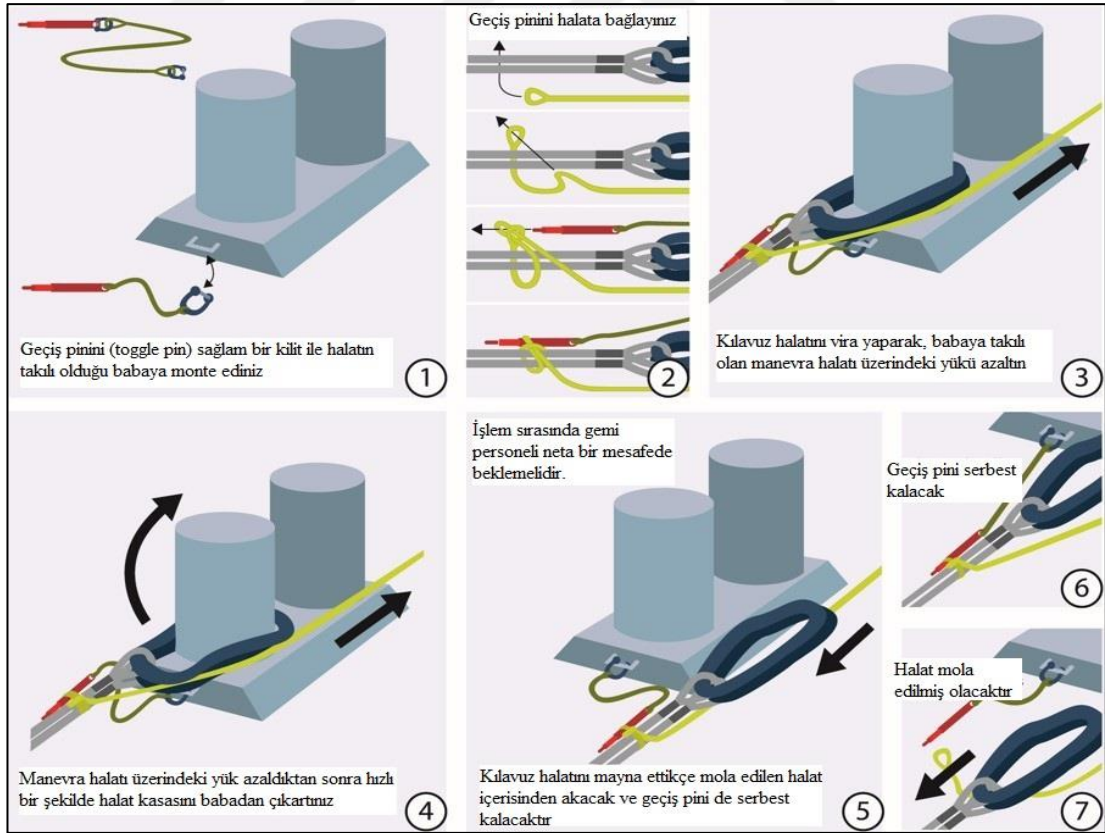
Ayrılma manevraları esnasında halatların mola edilme işlemi çok dikkatli ve emniyetli metotlar kullanılarak yapılmalıdır. Halatlar acil bir durumda diğer geminin makinesini kullanmasını engellemeyecek bir sıralamada mola edilmelidir. Halatların mola edilme sırası ayrılma manevrası öncesinde planlanmalı ve manevra esnasında iyi takip edilmelidir (STS Guide, 2013).

Mola işleminin emniyetli ve efektif bir şekilde gerçekleştirilebilmesi adına operasyon amiri veya gemi manevra personeli tarafından farklı yöntemler uygulanabilir. Yaygın kullanılan yöntemlerden birisi bağlama babalarına hızlı serbest bırakma düzeneklerinin takılması, diğeri ise sağlam bir geçiş pini bağlama kılavuz halatı ile birlikte kullanılarak mola edilecek halat üzerindeki yükün alınması

sonrasında halat kasasının bağlama babasından çıkartılması ve bağlama kılavuz halatının kontrollü olarak boş koyulması ile halatın mola edilmesi yöntemidir. Bazı gemilerde serbest bırakma düzenekleri gemilerin bağlama babalarına gemi inşası sırasında monte edilmiş olabilir (Genel Denizcilik Nakliyatı AŞ Ship to Ship Operation Plan, 2013).

Serbest bırakma düzenekleri kullanılarak halat mola işlemi halat üzerinde gerilim, yük var iken yapılmamalıdır. Halatı serbest bırakmadan önce halat üzerindeki yük alınmış, halata boş koyulmuş olmalıdır (M/T Navigator Phoenix STS Operations Plan, 2014).

STS guide içerisinde yer alan serbest bırakma düzeneği, geçiş pini sisteminin kullanımı aşağıdaki Şekil 1.12’de açıklamalı olarak gösterildiği gibidir (STS Guide, 2013):



Şekil 1.12 Geçiş pini kullanarak halatın mola edilmesi (STS Guide, 2013)

1.4 Gemiden Gemiye Tanker Transfer Operasyonları ve Manevralarına İlişkin Yazın Taraması

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları ile ilgili hali hazırda en önemli rehber olarak kabul edilen yayın, sektör öncüleri OCIMF, CDI, ICS ve SIGTTO tarafından yayınlanmış olan “Ship to Ship Transfer Guide for Petroleum, Chemicals and Liquefied Gases” kitabıdır. İlk olarak 1975 yılında yayınlanmış olan bu kitap daha sonraki seneler içerisinde güncellenmiş ve hali hazırda 2013 senesinde son basılmış versiyonu ile gemiden gemiye tanker transfer operasyonları üzerine yayınlanmış olan eski çalışmalarda da temel kaynak olarak yararlanılmıştır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) de zaman içerisinde denizde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının artış göstermesi üzerine 1973 senesinde yayınlanmış olduğu Uluslararası Denizde Gemilerden Kaynaklı Kirliliğin Önlenmesine Yönelik Sözleşmesine, 17 Temmuz 2009 tarihinden itibaren geçerli olan MEPC.186(59) numaralı sirküleri yayımlamıştır. Buna göre bu sirküler içerisinde yer alan kurallar 1 Nisan 2012 tarihinden sonra deniz üzerinde gemiden gemiye petrol ve türevi ürün transferi yapan, 150 gros ton ve üzerindeki tanker gemilerine uygulanacaktır. Yine bu sirküler gereğince denizcilik şirketlerine, deniz üzerinde gemiden gemiye tanker transfer operasyonu yapan gemilerinde, yetkili idare tarafından onaylanmış “Gemiden Gemiye Transfer Operasyon Planı (STS Operation Plan)” bulundurma ve gemilerinin transfer operasyonlarında bu plan içerisinde yer alan prosedürlere uyma zorunluluğu getirilmiştir. Denizde yakıt transferi yani bunkering operasyonu yapan gemiler, yüzer depo ve tekrar gazlaştırma üniteleri (Floating Storage Regasification Units-FSRU), acil bir durum sebebiyle yükünü limbo yapmak zorunda kalmış tankerler ile operasyona konu gemilerden birisi veya her ikisinin askeri gemi veya devlet gemisi olduğu operasyonlar bu sirkülerde yayınlanan kuralların dışında tutulmuştur. Son üç yıl içerisinde yapılmış olan transfer operasyonuna ait kayıtların gemide bulunuduruluyor olması zorunlu hale getirilmiştir (International Maritime Organisation (IMO) Resolution MEPC.186, 2009).

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları ile ilgili olarak önceki çalışmalar araştırıldığında, yakın geçmiş sebebiyle çok kapsamlı bir literatüre rastlanılmamıştır. Yakın zaman içerisinde STS operasyonları yaygınlığının artış göstermeye başlaması ile birlikte başlamış olan araştırmaların son 15 yıllık zaman dilimi içerisinde yapılmış olduğu görülmüştür. 2005-2020 yılları arasında öne çıkan çalışmalar Tablo 1.1’de belirtilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere yapılan çalışmaların çoğu denizde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarında gemi manevralarının ve kargo operasyonlarının emniyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmeleri üzerine yapılmış olan çalışmalardır.

Tablo 1.1 Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları ve manevralarına ilişkin yazın taraması

Yazar	Dergi Adı	Yayın Adı	Katkı/Çıktı
Decker (2006)	Academic Thesis, Ghent University	Ship-ship interaction during lightering operations	Tez çalışması olarak hazırlanmış olan bu çalışmada gemiden gemiye transfer operasyonu sırasında gemiler arasında oluşan hidrodinamik etkileşimler deneysel veriler ve teorik sayısal verilerin karşılaştırılması yöntemleriyle incelenmiştir.
Berg (2007)	International Journal on Marine Navigation Navigation and Safety of Sea Transportation	Ship to ship operations in cold climate environments	Kuzey Batı Rusya ve Kuzey Norveç gibi petrol ve gaz kaynaklarının bulunduğu soğuk ve buz ile kaplı Arktik bölgelerde gerçekleştirilen gemiden gemiye transfer operasyonlarında hava şartları etkileri üzerine yayınlanmış olan bir makaledir.
Skejic ve Faltinsen (2007)	2nd International Conference on Marine Research and Transportation	A unified seakeeping and maneuvering analysis of two interacting ships	Transfer operasyonu sırasında gemiler arasında oluşacak hidrodinamik etkileşimler simülasyon ve laboratuvar ortamında incelenmiştir. İnceleme karşılaştırma amaçlı olarak hem sakin deniz koşullarında hem de dalgalı deniz koşullarında yapılmıştır.

Tablo 1.1 devamı

Pedersen vd. (2008)	2008 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium	On the development of guidance system design for ships operating in close proximity	Bu çalışmanın amacı gelecekte oluşabilecek talebe karşılık, gemi simülatör merkezlerindeki gemi personeli eğitimlerinde kullanılmak üzere STS gemi manevrası matematiksel modellerinin geliştirilmesidir.
Lataire vd. (2009)	MARSIM'09 Conference	Captive model testing for ship-to- ship operations	Kompleks gemiden gemiye transfer operasyonları üzerine mevcut simülatör eğitimlerinin yeterliliğini arttırmak amacıyla geliştirilen model üzerinden deneyler yapılmıştır.
Husjord ve Pedersen (2010)	IEEE	On Guidance and Decision-Support Displays in Ship to Ship Lightering Operations	Gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarında görevli personelin manevra operasyonları sırasında, karar verme aşamalarında yaşadıkları zorlukları ve bu karar verme sürecinde destekleyebilecek sistemlerin geliştirilebilmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır.
Shimizu vd. (2010)	IEEE	Field observation on actual lightering operations	Bu çalışmada 2007 ve 2009 yıllarında Amerikada gemiden gemiye transfer operasyonları içerisinde yer almış bir afamax tankere ait kara kutu (VDR) verileri analiz edilerek, operasyon emniyetini arttırabilmek adına bir rehber ve karar destek sistemi oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda gemiler arasındaki göreceli mesafenin yaklaşım manevralarındaki en kritik faktör olduğu sonucu çıkartılmıştır.

Tablo 1.1 devamı

Xiang vd. (2011)	2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction	Hydrodynamic Interaction Loads Between Two Ships During Lightering Operations in Calm Water	Bu çalışmada seyir halindeki bir aframax tipi tanker ile VLCC tipi tankerin transfer operasyonu sırasında aralarında oluşan hidrodinamik etkileşimler üç boyutlu potansiyel akış teorisi kullanılarak incelenmiştir.
Souza ve Morishita (2011)	ASME, 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering	Dynamic modeling of underway ship-to-ship operations	Seyir halinde devam eden gemiye gemiye transfer operasyonlarında bağlama halatlarına etki eden yük miktarlarının incelemesi simülator ortamında dinamik bir model geliştirilerek gemiler arasındaki etkileşim tahmin edilmeye çalışılmış olup, usturma seçimi ve bağlama planlarının efektif olarak planlanmasına yardımcı olunması amaçlanmıştır.
Lataire vd. (2011)	2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water	Ship to Ship Interaction Forces During Lightering Operations	Ghent Üniversitesinde simülator ortamında ufak gemi modelleri kullanılarak yapılan bu çalışmada, gemiden gemiye transfer operasyonları sırasında gemiler arasında oluşacak hidrodinamik etkileşimler, gemiler arasında sürat farkı olmadığı varsayılarak yapılmış, eski benzer çalışmalardan elde edilen veriler ile karşılaştırılarak incelenmiştir.
Glykas ve Perissakis (2011)	European Conference on Shipping Intermodalism	A risk assessment methodology as a tool for screening of ship to ship (sts) transfer operations	Bu çalışmada geçmiş transfer operasyonlarına ait gemi özellikleri ve performansları incelenerek, transfer operasyonlarında faydalanmak adına etkili risk değerlendirmesinin yolları incelenmiştir.

Tablo 1.1 devamı

Ventikos ve Stavrou (2013)	SPOUDAI Journal of Economics and Business	Ship to Ship (STS) Transfer of Cargo: Latest Developments and Operational Risk Assessment	Gemiden gemiye kargo transfer operasyonları üzerine hazırlanmış genel anlamda bir makaledir. Son yaşanmış kaza istatistiklerine göre risk değerlendirilmesi yapılırken dikkat edilmesi gerekli faktörler belirtilmiştir. 7.sayfasında yer alan Cetvel 1 de 4 tane kaza raporuna yer verilmiştir.
Zhuang ve Su (2015)	The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety	Risk analysis on ship to ship (STS) crude oil transfer at sea	Bu makalede gemiden gemiye ham petrol transfer operasyonlarındaki risklerin analizi yapılmaktadır. Çin'in Qinzhou limanı baz alınarak STS ham petrol transferlerine yönelik risk değerlendirme sistemi üzerine yapılmış bir çalışmadır.
Zenios (2016)	Master Thesis	Verification of ship compliance according to industry standards in ship to ship transfer operations	Yüksek lisans bitirme tezi olarak hazırlanmış olan bu çalışmada gemiden gemiye transfer operasyonları temel prensipleri, operasyon çeşitleri, kullanılan ekipmanlar ve risk değerlendirme metotları üzerinde durulmuştur.
Stavrou ve Ventikos (2016)	Journal of Risk Research	A novel approach in risk evaluation for ship-to-ship (STS) transfer of cargo using process failure mode and effects analysis (PFMEA)	Bu çalışmada gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarındaki risklerin değerlendirilmesi amacıyla "Süreç Başarısızlık Modu ve Etki Analizi" (PFMEA) yöntemi kullanılarak risk öncelik numaraları (RPN) belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 1.1 devamı

Husjord (2016)	The Journal of Navigation	Development of a Decision Support System in Ship-to- Ship Lightering	Bu çalışmada kademeli yaklaşım sistemi kullanılmıştır. Norveç'teki MARINTEK simülör ortamında araştırmalar yapılmıştır. Laboratuvar ortamında geliştirilmiş olan ekipman ile gemi kırlangıçlarında manevrayı idare eden bağlama kaptanları ve gemi kaptanlarına yardımcı olacak bilgileri kolay ve hızlı erişim imkânı sağlayan cihaz, simülör ortamında test edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.
Witkowska vd. (2017)	Springer International Publishing	Trajectory planning for service ship during emergency STS transfer operation	Bu çalışma gemiden gemiye transfer operasyonlarında en tehlikeli aşama kabul edilen yaklaşım manevraları sırasında yaşanabilecek ve deniz kirliliği ile sonuçlanabilecek bir çatışma durumunun önlenmesi adına, yaklaşım sırasında servis gemisinin her bir rota bacağı için sürat, rota bilgileri ve geminin karakteristiğine bağlı olarak uygulanacak olan dümen açıları gibi bilgilerin operasyon öncesinden biliniyor veya planlanıyor olmasının, kaza ihtimali üzerindeki etkisi üzerine simülör ortamında yapılmış olan bir araştırmadır.
Abramowicz vd. (2018)	Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin	Human and operational factors in the risk assessment of ship to ship operations	Bu makale STS operasyonlarında oluşan kazalarda veya risklerde yer alan insan faktörü üzerine yapılmış bir analizi içermektedir. İnsan faktörü üzerinde etkili olan faktörler ve en önemli olarak görülen stres seviyesi arasındaki ilişki modellenmiştir. Çalışmada bayes ağları ve bulanık mantık modelleme teknikleri kullanılmıştır.

Tablo 1.1 devamı

Sultana, Okoh, Haugen ve Vinnem (2019)	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	Hazard analysis: Application of STPA to ship-to-ship transfer of LNG	Son dönemde Plymouth, İngiltere ve Nijerya bölgelerinde sıvılaştırılmış gaz taşıyan gemilerin yapmış oldukları gemiden gemiye transfer operasyonlarında artan kazaların analizi ile ilgili olarak geleneksel yöntemlerin yeterli olmadığı öne sürülerek, analiz Sistem Teori Süreç Analizi (System Theoretical Process Analysis-STPA) kullanılarak yapılmıştır.
Sano ve Yasukawa (2019)	Elsevier, Ocean Engineering	Simulation study of approach manoeuvre in lightering and reverse lightering operations	Bu çalışmada klasik yapılan transfer operasyonları ile reverse yani ters transfer operasyonları, yani tahliye yapan geminin servis gemisi, yükleme yapan geminin ana gemi olduğu durumdaki gemiler arasındaki hidrodinamik etkileşimlerin karşılaştırılması simülasyon ortamında incelenmiştir.
Arici, Akyuz ve Arslan (2020)	Ocean Engineering	Application of fuzzy bow-tie risk analysis to maritime transportation: The case of ship collision during the STS operation	STS kargo transfer operasyonlarının nicel risk analizi hata ağacı ve olay ağacı analizleri ile birlikte uzman görüşlerine başvurulmuş yapılmıştır. Tepe olay olarak çatışma kazasına yol açan faktörlerin olasılıkları hesaplanmıştır. Manevra planının takip edilmemesi, gemiler arasındaki etkileşim etkisinin dikkate alınmaması ve yakın düşme durumlarının doğru takip edilmemesi en yüksek olasılıklı faktörler olarak tespit edilmiştir.

BÖLÜM İKİ

RİSK ANALİZ TEKNİKLERİ

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarında yaşanabilecek çatışma kazalarının risk analizini yapabilmek adına hata ağacı analizi ve bayes ağ metodu birlikte kullanılarak entegre bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Literatür taraması ve uzman görüşleri sonrasında elde edilen kök nedenlerin olasılıkları uzman görüşlerinden faydalanılarak hesaplanmış ve hata ağacı oluşturularak, hata ağacı analizi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında dinamik analizin yapılabilmesi için hata ağacından geçiş algoritması kullanılarak bayes ağ sistemine geçiş yapılmıştır.

2.1 Hata Ağacı Analizi (*FTA-Fault Tree Analysis*)

Hata ağacı analizi 1962 senesinde Bell Telephone Laboratories de çalışmakta olan Mr H.Watson ve Mr A.Mearns tarafından Amerikan Hava Kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan bir sistem güvenilirliği analizidir. Bu analiz metodu daha sonraları oldukça geliştirilerek Boeing şirketi tarafından kullanılmaya başlanmıştır ve günümüzde havacılık, otomobil, kimya, nükleer ve yazılım endüstrilerinde özellikle sistem güvenilirliği ve ilgili konularda yaygın olarak kullanılmaktadır (Erdoğan, 2015).

Hata ağacı analizi; bir sistemin çeşitli seviyelerindeki arıza ve hatalarının sebeplerini araştırmak için kullanılmakta olan grafiksel bir modelleme aracıdır. Hata ağacı analizi yapabilmek için bir hata ağacı diagramı kullanılmaktadır. Hata ağacı diyagramı ise belirli bir hatanın veya arızanın meydana gelebileceğini çeşitli yollardan gösteren ve belirli mantık sembollerinden oluşmuş olan yukarıdan aşağıya sanki bir ağaç gibi gözüken grafiksel ve mantıksal bir modellemedir (Vesely, Goldberg, Roberts ve Haasl, 1981).

Hata ağacı analizi; enerji santralleri, uçaklar, veri merkezleri ve web mağazaları gibi güvenlik ve ekonomik açıdan kritik varlıklarla ilgili riskleri analiz etmek için çok önemli bir yöntemdir (Ruijters ve Stoelinga, 2015).

Hata ağacı diagramı; olaylar ve araziya yol açan sebepler arasındaki mantıksal ilişkiyi gösteren bir görsel kayıt meydana getirir. Böylece hata ağacını inceleyen bireylerin analiz sonuçlarını kolay bir şekilde anlayarak, sistemdeki zayıflıkları tespit etmesini ve hataları tanımasını kolaylaştırır. Birçok yönden hata ağacı diagramı daha fazla analiz ve değerlendirme yapılabilmesinin temelini oluşturmaktadır. Hata ağacı analizleri her türlü sistem seviyesi risk değerlendirme süreci için kullanılabilir. Hata ağacı analizinin amacı sistem içerisindeki arızaları etkin bir şekilde tanımlamak ve riskleri oluşmadan önce hafifletmek veya ortadan kaldırmaktadır (Tanaka, Fan, Lai ve Toguchi, 1983).

2.1.1 Hata Ağacı Diyagramlarının Elementleri ve Kullanılan Semboller

Bir hata ağacı olaylar ve kapılar olmak üzere iki tür düğümden oluşan yönlendirilmiş çevrimsiz grafik. Bir olay sistemi içerisindeki bir oluşumdur, tipik olarak bir alt sistemin tek bir bileşene kadar arızalanmasıdır. Olaylar, kendiliğinden meydana gelen basit olaylar (basic event) ve bir veya daha fazla başka olayın neden olduğu ara olaylar (intermediate event) olmak üzere ikiye ayrılabilir. Hata ağacının tepesindeki olay ise tepe olay (top event) olarak adlandırılır ve incelenen sistemin arızasını modelleyen olaydır. Hata ağaçları, sistem analizini gerçekleştirebilmek için mantıksal kapıları kullanmaktadırlar. Mantıksal kapılar, arızaların sistemde nasıl yayıldığını yani alt sistemlerdeki arızaların bir sistem arızasına neden olacak şekilde nasıl birleşebileceğini gösterirler (Antão ve Soares, 2006).

Kullanımda olan çok sayıda hata ağacı analizi sembolü bulunmaktadır, fakat bu semboller genel olarak olay sembolleri, kapı sembolleri ve transfer sembolleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Quraishi, 2019):

Olay sembolleri; hata ağaçlarındaki olaylar yani hatalardır ve kullanılan semboller bu hataların normal, bağımsız, koşullu veya katkıda bulunup bulunmadığını gösterirler (Vesely ve diğer., 1981).

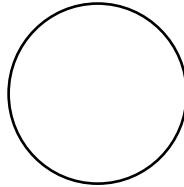
Kapı sembolleri; temel fonksiyonel ilişkiyi mantıksal biçimde tasvir eder ve üst düzey olaylar ile daha düşük seviyedeki olayları birbirlerine bağlamak için kullanılırlar (Vesely ve diğer., 1981).

Transfer sembolleri; bir alt sistemin arıza ağaçları da dahil olmak üzere ilgili arıza ağaçlarını sisteme bağlamak için uygun bir yol sağlar (Stamatelatos, Vesely, Dugan, Fragola, Minarick ve Railsback, 2002).

2.1.1.1 Olay Sembolleri (Event Symbols)

Hata ağacı diyagramlarında yaygın olarak kullanılmakta olan olay sembolleri aşağıdaki gibidir (Lambert, 1975):

Basit olay, daha fazla geliştirme gerektirmeyen temel bir başlangıç hatasıdır. Şekil 2.1'deki gibi daire şekli ile gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Basit olay sembolü

Tepe veya ara olay, basit olayların mantıksal kombinasyonu sonrasında meydana gelmiş olan arıza olayıdır. Sistemin durumunu, etkinliğin açıklamasını içerir. Şekil 2.2'deki gibi dikdörtgen şekli ile gösterilir.



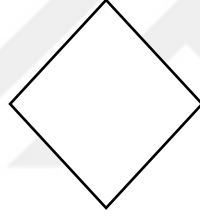
Şekil 2.2 Tepe veya ara olay sembolü

Ana olay, normal olarak sistem içerisinde gerçekleşmesi beklenen olaydır. Ara olayın üzerinde yer alan bu olay ana olayın sebebi olabilir. Şekil 2.3'deki gibi ev şekline benzeyen sembol ile gösterilir.



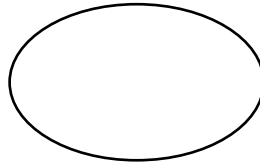
Şekil 2.3 Ana olay sembolü

Gelişmemiş olay, yetersiz sonuç mevcudiyeti veya yeterli bilgi bulunamadığı için daha fazla geliştirilememiş olan olaydır. Şekil 2.4'deki gibi elmas şeklinde döndürülmüş eşkenar dörtgen şekli ile gösterilir.



Şekil 2.4 Gelişmemiş olay sembolü

Şartlandırılmış olay, herhangi bir mantık kapısı için geçerli olan belirli koşullar veya kısıtlamalar. Şekil 2.5'deki gibi oval elips şekli ile gösterilir.

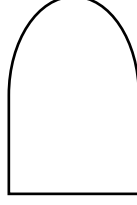


Şekil 2.5 Şartlandırılmış olay sembolü

2.1.1.2 Kapı Sembolleri (Gate Symbols)

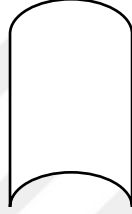
Hata ağacı diyagramlarında yaygın olarak kullanılmakta olan kapı sembolleri aşağıdaki gibidir (Vesely ve diğer., 1981):

“Ve” kapısı, bir sonuç olayının yalnızca tüm giriş koşullarının gerçekleşmesi sonucunda meydana geldiği durumu gösterir. Şekil 2.6’daki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Ve kapısı sembolü

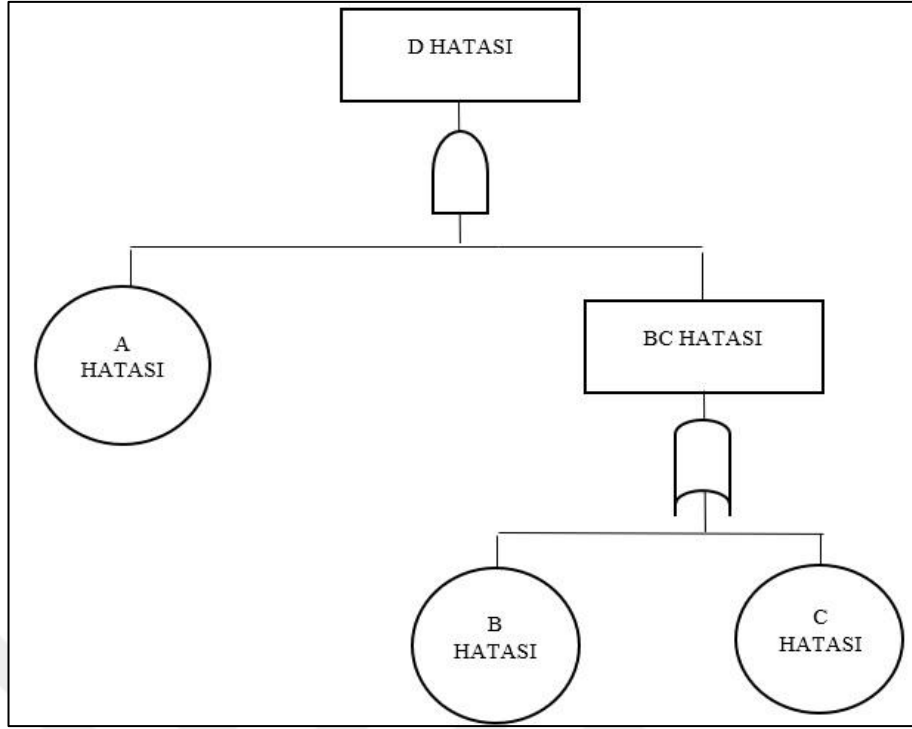
“Veya” kapısı, bir sonuç olayının giriş koşullarının en az birisinin gerçekleşmesi sonucunda meydana geldiği durumu gösterir. Şekil 2.7’deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Veya kapısı sembolü

2.1.2 Basit Bir Hata Ağacı Analizi Gösterimi

Örnek bir hata ağacı analizi aşağıdaki Şekil 2.8’de gösterilmektedir. Bu diagramda D çıkış olayı “tepe olay” olarak gösterilirken; A, B ve C olayları ise “basit olay” olarak gösterilmektedir. BC olarak belirtilmiş olay ise “ara olay” dır. D tepe olayının gerçekleşebilmesi için altındaki A ve BC koşullarının her ikisinin de gerçekleşmesi gerektiği için “Ve kapısı” kullanılırken; BC ara olayının gerçekleşebilmesi için B veya C basit olaylarından birisinin gerçekleşmesi yeterli olacağı için “Veya kapısı” kullanılmıştır (Kang, Sun ve Soares, 2019).



Şekil 2.8 Basit bir hata ağacı gösterimi (Kang, Sun ve Soares, 2019)

2.1.3 Hata Ağacı Analizlerinin Niteliksel ve Niceliksel Değerlendirmeleri

Hata ağacı üzerinde hem niteliksel hem de niceliksel değerlendirmeler gerçekleştirilebilir. Hata ağacının kendisi tepe olaya yol açan olayların ve aralarındaki ilişkilerin niteliksel bir değerlendirmesidir. Hata ağacının oluşturulması esnasında tepe olayın nedenleri ile ilgili olarak önemli öngörüler ve anlamlar kazanılır. Yapılan ek değerlendirmeler, hata ağacının sağladığı bilgilerin daha da iyileştirilmesini sağlar (Stamatelatos ve diğer., 2002).

Niteliksel değerlendirmeler basit olarak, hata ağacı mantığını daha odaklı bilgi sağlayan formlara dönüştürür. Bu formlardan elde edilen temel niteliksel sonuçlar tepe olayın minimal kesim setleridir (MCS-Miniman Cut Sets). Bir minimal kesim seti tepe olaya sebep olan basit olayların kombinasyonudur. Başka bir ifade ile minimal kesim setleri tepe olaya sebep olan basit olayların en küçük haldeki kombinasyonlarıdır. Bu sebeple minimal kesim setleri tepe olayı direkt olarak basit olay sebepleri ile ilişkilendirir. Minimal kesim setleri sadece tepe olayı için değil, hata ağacı içerisindeki ara olaylar için de elde edilebilir (Karimi, Rasmussen ve Wolf, 1980).

Hata ağaçlarının niceliksel değerlendirmeleri ise tepe olay olasılıklarının belirlenmesi ve basit olayların önemlerinin belirlenmesi ile elde edilir. Herhangi bir nicel sonuç içerisindeki belirsizlikler de belirlenebilir. Hata ağaçları, her minimum kesim setinin olasılığının hesaplanması ve tüm kesim seti olasılıklarının toplanmasıyla nicelik olarak ölçülebilir hale getirilebilir. Daha sonra kesim kümeleri olasılığa göre sıralanır. Tepe olayın olasılığına önemli ölçüde katkıda bulunan kesim setlerine dominant kesim setleri denir. Tepe olayın olasılığı analizde birincil odak noktası olsa da, hata ağacındaki herhangi bir ara olayın olasılığı da belirlenebilir (Karimi ve diğer., 1980).

Niceliksel ölçümler tepe olaya neden olan olayların önemine göre eylemlerin ve kaynakların önceliklendirilmesine izin verir. Basit olayların, ara olayların ve minimal kesim setlerinin önemi belirlenebilir. Farklı uygulamalar için farklı önem ölçüleri hesaplanabilir. Ölçülerden birincisi, her bir olayın tepe olay olasılığına etkileridir. İkincisi, tepe olayın meydana gelmesi engellenmişse, tepe olay olasılığındaki azalmadır. Üçüncüsü, tepe olayın gerçekleşeceğinden emin olunması durumunda en yüksek olay olasılığındaki artıştır. Elde edilebilen bu önemli sonuçlardan; önceliklendirme, önleme faaliyetleri, yükseltme faaliyetleri ve bakım ve onarım faaliyetlerinde faydalanılmaktadır (Stamatelatos ve diğer., 2002).

2.1.4 Hata Ağacı Analizlerinin Karar Verme Aşamasındaki Rolü

Tepe olayın gerçekleşmesini önlemede, karar vermeye yardımcı olmak açısından hata ağacı analizlerinden çeşitli bilgiler sağlanmaktadır (Stamatelatos ve diğer., 2002).

Hata ağacı analizi tepe olaya neden olan, basit ve ara olayların sebeplerinin görsel ve mantıksal bir modelde anlaşılmasını kolaylaştırır. Tipik olarak hata ağaçları tek bir sistemle sınırlı değildir ve sistem sınırlarını aşabilirler. Sistem içerisinde yayılan hatalar ve olayların kombinasyonu hata ağacı sayesinde kolayca anlaşılabilir. Minimal kesim setleri niteliksel analizin önemli bir yönü olup, ilgili olayların sayısına ve doğalarına göre organize edilebilir ve önceliklendirilebilir (Karimi ve diğer., 1980).

Hata ağacı analizlerinden elde ettiğimiz en önemli sonuçlardan bir tanesi de tepe olaya sebebiyet veren olayların önceliklendirilebilmesidir. Eğer hata ağacı niceliksel yani ölçülebilir ise bu durumda tepe olaya sebep olan hatalar önemlerine göre önceliklendirilebilirler. Ayrıca tepe olaya sebep olan ara olaylar ve hatalar da aynı şekilde önceliklendirilebilirler. Hata ağacı analizlerinin en önemli sonuçlarından birisi genellikle sadece birkaç hata, tepe olayın gerçekleşmesinde büyük pay sahibidir (Kang ve diğer., 2019).

Hata ağacı analizleri genellikle bir sistemdeki savunmasız bölgeleri tespit etmede kullanılırlar. Bu savunmasız bölgeler, tepe olay oluşmadan önce düzeltilebilir veya güçlendirilebilir. Sistem içerisinde yapılan değişiklikler tepe olayın olasılığını düşürme olarak değerlendirilebilir. Hata ağacı analizlerinden elde edilen kaynakları optimum kullanmak veya minimize edebilmek için de faydalanılır. Bu özelliği sayesinde hata ağacı analizleri sadece neyin önemli olduğunu göstermek ile kalmaz, aynı zamanda neyin önemsiz olduğunu da gösterir. Analiz içerisinde yer alan olaylardan tepe olay üzerinde etkisi bulunmayanlar ihmal edilebilir veya önlemleri gevşetilebilir (Antão ve Soares, 2006).

Hata ağacı analizi, tepe olaya neden olan sebeplerin ortaya konulması ve düzeltilmesi için teşhis aracı olarak kullanılmaktadır. Teşhis aracı olarak hata ağacı analizlerinin bu kullanımı yukarıdaki maddelerde açıklanan proaktif ve önleyici kullanımlardan farklıdır. Hata ağacında belirtilmiş olan ve tepe olaya sebep olan hatalar zinciri neyin yanlış gittiğini, hangi bölgelerin güçlendirilmesi gerektiğini veya maliyetli tasarım değişikliklerini göstermesi bakımından önemli bilgiler sağlamaktadır. Hata ağacı analizi tüm mühendislik kollarında kullanılabilir (Waghmode ve Patil, 2013).

2.1.5 Hata Ağacı Analizinin Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması

Risk analizlerinde hata ağacı yönteminin kullanıldığı başlıca endüstriler ve teknolojiler; havacılık, nükleer sistemler, uzay projeleri, robotik sistemler ve füze sistemleridir. Denizcilik ve açık deniz sistemleri alanlarında kullanımı ise daha çok tanker tipi gemilerin ve açık deniz petrol platformlarının emniyetli operasyonları üzerinedir (Ta, Vu, Triet, Thien ve Cang, 2017).

Hata ağaçları, analizini yaptıkları sistem içerisindeki zayıflıkları belirleyerek, düzeltilmesi gereken noktaların belirlenmesini ve yapılacak düzeltmelerin doğuracağı olası sonuçların tahmin edilmesini sağlar. Bu bakımdan hata ağaçlarının kullanım alanları geniş olup; kimyasal süreçler, sistem emniyet değerlendirmeleri, nükleer sistemler ve deniz taşımacılığı gibi alanlarda kullanılmaktadır (Senol, Aydogdu, Sahin ve Kilic, 2015).

Hata ağacı analizleri başlangıçta nükleer enerji sistemleri ve kimyasal işleme süreçlerinde uygulanıyor olsa da, yöntemin genel ve potansiyel olarak farklı alanlarda da uygulanabiliyor olması kullanımını da yaygınlaştırmıştır. Son dönemde deniz taşımacılığı ve hidroelektrik santralleri gibi farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır (Quraishi, 2019).

Denizcilik ile ilgili operasyonlar her zaman büyük ve komplike tehlikeler barındırdığı için kazalar oluşmadan önce risklerin belirlenerek gerekli önlemlerin alınması gerekliliği yani risk analizinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda bir çok farklı risk analizi teknikleri denizcilik alanı ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır. Hata ağacı analizi de bu yöntemlerden birisi olmakla beraber hata ağacı analizi kullanılarak denizcilik alanında 2005-2020 yılları arasında yapılmış olan çalışmalara ait yazın taraması gerçekleştirilmiş olup, yayınların başlıcaları Tablo 2.1’de bulunmaktadır.

Tablo 2.1 Hata ağacı analizlerinin denizcilik alanında kullanımına ilişkin yazın taraması

Yazar	Dergi Adı	Yayın Adı	Katkı/Çıktı
Antão ve Soares (2006)	International Journal of Automation and Computing 2	Fault-tree Models of Accident Scenarios of RoPax Vessels	Hem taşıt hem de yolcu taşıması yapan gemilerde yaşanabilecek kazaların hem ekonomik hem de insan hayatı üzerine riskler barındırması sebebiyle risklerin ortaya konulması amacıyla hata ağacı analizi kullanılarak risk analizi yapılmıştır.
Celik, Lavasani, Wang (2010)	Safety Science	A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation	Denizcilik kaza araştırmaları üzerine mevcut verilerin bulanık hata ağacı analizi yöntemi kullanılarak incelenmesi ve kaza analizleri ile önleyici faktörlerin ortaya konulması üzerine yapılmış bir çalışmadır.
Mentes ve Helvacioğlu (2011)	Ocean Engineering	An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems	Bir şamandıra sistemine bağlayarak kargo operasyonu yapan bir tanker için 12 farklı bağlama sistemi metodu seçilerek, operasyon sırasında istenmeyen tepe olay olarak kargo hortum devresi hasarı için risk değerlendirmesi hata ağacı analizi yöntemi ile yapılmıştır.
Lavasani, Wang, Yang ve Finlay (2011)	International Journal of Maritime Science Engineering	Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines	Açık deniz boru hattı sistemlerinin risk analizi hata ağacı analizi kullanılarak yapılmıştır. Açık deniz boru hattı arızası tepe olay seçilerek minimum kesim setleri oluşturularak analiz yapılmıştır.

Tablo 2.1 devamı

Laskowski (2015)	Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin	Fault Tree Analysis as a tool for modelling the marine main engine reliability structure	Ana makine arızası olarak belirlenmiş olan tepe olaya sebebiyet verebilecek basit olaylar belirlenerek, iki zamanlı dizel gemi makinesinin güvenilirlik analizi minimum kesim setleri kullanılarak hata ağacı analizi ile yapılmıştır.
Senol, Aydogdu, Sahin ve Kilic (2015)	Expert Systems with Applications	Fault Tree Analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach	Kimyasal kargoların tahliye sonrasında gemi üzerinde kalıntı olarak kalması ve sonrasında yaşanan kazalara ilişkin hata ağacı analizi kullanılarak yapılmış bir çalışmadır. Yeterli veri bulunmadığı için uzman görüşlerine başvurularak bulanık hata ağacı yöntemi kullanılmıştır.
Uğurlu, Köse, Yıldırım ve Yükselyıldız (2015)	Maritime Policy&Management	Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method	Ham petrol tankerleri için elde edilmiş veriler üzerinde çatışma ve karaya oturma kazalarının incelemesi yapılmıştır. Hata ağacı analizi kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnsan kaynaklı hatalar arasında çatışma kazasına sebebiyet veren en yüksek olasılıklı olaylar COLREG ihlali ve gemiler arasında haberleşme arızası görüldükçe; karaya oturma kazası için vardiya zabitanın yorumlama hatası ve köprüüstü kaynak yönetimindeki haberleşme eksikliği olarak görülmüştür.

Tablo 2.1 devamı

Guan, Zhao, Shi ve Zhu (2016)	Journal of Marine Science and Applications	Fault Tree Analysis of Fire and Explosion Accidents for Dual Fuel (Diesel/Natural Gas) Ship Engine Rooms	Çin karasularında hem dizel hem gaz yakıtı ile çalışabilen bir geminin makine dairelerinde yaşanabilecek yangın ve patlama kazalarına karşı yapılmış incelemidir. Yetersiz veri sebebiyle sadece nitel analiz yapılmıştır.
Ta, Vu, Triet, Thien ve Cang (2017)	International Journal of Transportation Engineering and Technology	Assesment of Marine Propulsion System Reliability Based on Fault Tree Analysis	Hata ağacı analizi kullanılarak ulaştırma sektöründe deniz sevk sistemlerinin risk değerlendirmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır. Hata ağacı analizi kullanılarak gemi ana makine arızası, jeneratör arızası ve dizel ceket suyu soğutma sistemlerinin ayrı ayrı risk analizleri yapılmıştır.
Awal ve Hasegawa (2017)	ScienceDirect	A Study on Accident Theories and Application to Maritime Accidents	Petrol depolama tanklarında yaşanabilecek yangın ve patlama kazalarına ilişkin hata ağacı analizi yöntemi minimum kesit setleri ile kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır.
Sunaryo ve Hamka (2017)	ScienceDirect	Safety Risks Assessment on Container Terminal Using Hazard Identification and Risk Assessment and Fault Tree Analysis Methods	Konteyner terminallerinde yaşanabilecek kazaların önlenmesi adına yapılmış bir çalışmadır.

Tablo 2.1 devamı

Arslan, Zorba ve Svetak (2017)	Journal of ETA Maritime Science	Fault Tree Analysis of Tanker Accidents during Loading and Unloading Operations at the Tanker Terminals	Tanker terminallerinde yükleme ve boşaltma operasyonları sırasında gemilerde meydana gelen kazalar insan faktörü ve emniyet bakımından, hata ağacı analizi Monte Carlo simülasyonu ile birlikte kullanılarak incelenmiştir.
Yuan, Cui, Tao ve Wang (2018)	American Society of Civil Engineers	Fault Tree Analysis for Emergency Process of Fire Accident in Oil-Gas Storage and Transportation	Petrol ve gaz depolama ve taşıma tesislerinde yaşanabilecek yangın kazalarının risk analizi yapılmıştır.
Ünver, Gürgen, Sahin ve Altın (2019)	Engineering Failure Analysis	Crankcase explosion for two stroke marine diesel engine by using fault tree analysis method in fuzzy environment	Hata ağacı analizi kullanılarak iki zamanlı çalışan gemi ana makinesinin crankcase patlama olayının risk analizi yapılmıştır. Crankcase patlama olayına sebebiyet veren kök nedenler belirlenerek olasılıkları hesaplanmıştır. Personel hataları ve yatak arızaları nedeniyle sıçrayan sıcak parçalar ana sebepler olarak görülmüştür.
Kang, Sun ve Soares (2019)	Renewable Energy	Fault Tree Analysis of floating offshore wind turbines	Yarı yüzer açık deniz rüzgâr türbin sistemlerinin arıza karakterleri üzerine nitel ve nicel açılardan yapılmış hata analizini içeren çalışmadır.

Tablo 2.1 devamı

Kuzu, Akyuz ve Arslan (2019)	Ocean Engineering	Application of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) to maritime industry: A risk analysing of ship mooring operation	Bu makalede gemi bağlama operasyonlarının risk analizi bulanık hata ağacı analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Zarga isimli geminin bir LNG terminaline yanaşma manevrası sırasında yaşanan kaza bu yöntem ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda yanlış bilgi ve bağlama operasyonu sırasında tehlikeli bölge içerisinde bulunma basit olayları, tepe olaya sebebiyet veren en yüksek olasılıklar olarak görülmüştür.
Badida, Balasubramaniam ve Jayaprakash (2019)	Journal of Natural Gas Science and Engineering	Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis	Petrol ve gaz boru hatlarında yaşanabilecek arızalara karşı risk değerlendirmesi hata ağacı analizi kullanılarak yapılmıştır. Yeterli kaza verisi bulunamadığı için uzman görüşlerine başvurulmuştur.
Knezevic, Orovic, Stazic ve Culin (2020)	Journal of Marine Science and Engineering	Fault Tree Analysis and Failure Diagnosis of Marine Diesel Engine Turbocharger System	Gemi makine sistemlerinde turbo şarj cihazı arızasına yönelik arıza sebeplerinin belirlenmesi amacı ile yapılmış bir nitel güvenilirlik analizi çalışmasıdır.
Budiyanto ve Fernanda (2020)	Journal of Marine Science and Engineering	Risk Assessment of Work Accident in Container Terminals Using the Fault Tree Analysis Method	Konteyner limanlarında yaşanan kazaların ve potansiyel risklerin belirlenmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır. Hata ağacı analizi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi sonucunda en yüksek risk değerini operasyon sırasında yüksekte düşen konteynerler almıştır.

2.2 Bayes Ağları

Bayes teoremi matematiksel istatistiğin önemli bir teoremidir. Bayes teoremi; evrensel doğrular ve gözlemler vasıtasıyla herhangi bir durumun modelini oluşturarak sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır. Gözlemleri ve subjektif görüşleri kullanarak kesinlik içermeyen bilgileri tahmin ediyor olması ise bu yaklaşımı diğer istatistiksel yöntemlerden ayıran en belirgin özelliğdir (Akar ve Gündoğdu, 2013).

İngiltere de yaşayan bir rahip ve aynı zamanda matematikçi olan Thomas Bayes tarafından bulunmuş olan bayes teoremi ancak Bayes'in ölümünden birkaç yıl sonra arkadaşı Richard Price tarafından bulunup yayınlanmıştır ve böylece bayes teoremi ortaya çıkartılmıştır (Ekici, 2005).

Bayes teoremi, bilinen yargıların ortaya çıkan yeni bir durum veya kanıt karşısında nasıl değişmesi gerektiğini açıklayan matematiksel bir kuraldır. Diğer bir deyişle yeni bilgiler ile hali hazırda bulunan verilerin ve bilgilerin birleştirilmesini sağlar. Yeni bilgiler ortaya konuldukça mevcut inanılan doğrular da etkilenmiş olacaktır. Örneğin, gelişmekte olan bir çocuk gözlemci güneşin batışına tanıklık ettiğinde güneşin tekrardan doğup doğmayacağını merak eder ve her iki sonuca da eşit olasılığı vererek bu olasılıkları temsil eden bir siyah ve bir de beyaz bilyeyi bir torbanın içerisine atar. Ertesi sabah güneş doğduğu zaman torbanın içerisine bir beyaz bilye daha atar. Son durumda torbanın içerisinden çekilecek olan bir bilyenin beyaz olma ihtimali, yarımdan üçte ikiye yükselmiş olur. Eğer çocuk sonraki sabah da torbanın içerisine güneşin doğuşunu belirten bir beyaz bilye daha atarsa, bu durumda torbanın içerisinden beyaz bilye çekme olasılığı dörtte üçe çıkar. Kısacası diyebiliriz ki, yeni bilgiler dahil edildikçe güneşin doğma olasılığı da paralel olarak artar (Yücebaş, 2006).

Bayes ağları ortaya çıkan yeni bilgiler ışığında, mevcut olasılıkların güncellenmesi için bayes teoremini kullanan bir ağ yapısıdır (Zarei, Khakzad, Cozzani ve Reniers, 2019).

2.2.1 Bayes Ağlarının Yapısı

Bayes ağları yapısında, zincir kuralı ve koşullu bağımsızlık ilkesine dayanarak yönlü döngüsüz grafik yapısını göstermektedir ve ağ yapısında bilginin gösterilmesi dizisel, yakınsayan ve genişleyen yapılarda olmaktadır (Ogunsanya, 2012).

2.2.1.1 Bayes Ağlarında Zincir Kuralı

Zincir kuralı bir bayes ağının, yönlendirilmiş döngüsüz diyagram (DAG) yapısında yer alan tüm değişkenler üzerindeki ortak dağılımının gösterimi olduğunu ve ağ yapısında yer alan her bir düğüm için marjinal ve koşullu olasılıklarının hesaplanabileceğini söylemektedir (Trucco, Cagno, Ruggeri ve Grande, 2008).

Zincir kuralı bayes ağ yapıları meydana getirilirken kullanılan bir formüldür. Birleşik olasılık dağılımının hesaplandığı zincir kuralı, bayes ağının oluşturulmasında ve topolojinin belirlenmesinde kullanılır. Bunu yapabilmek için öncelikle birleşik olasılık dağılımı koşullu olasılık cinsinden açılır (Yücebaş, 2006):

$$\begin{aligned} \text{Değişkenlerin evreni "U" ise; } U &= (X_1, X_2, \dots, X_n) \\ U \text{ uzayının bileşik olasılığı; } \prod_{i=1}^n P(X_i + 1, \dots, X_n) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Bu dağılım işlemi formüldeki her bir birleşik olasılık, koşullu olasılıkla temsil edilene kadar sürdürülür ve sonunda zincir kuralı elde edilir (Yücebaş, 2006).

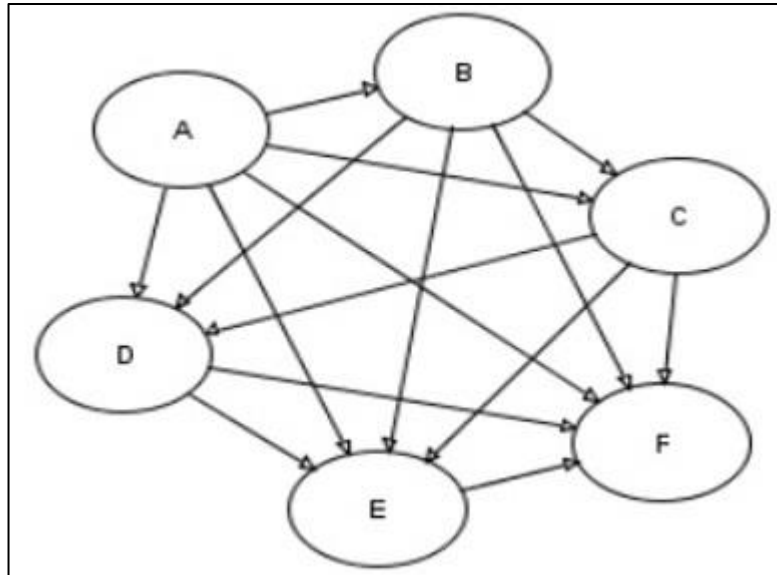
2.2.1.2 Koşullu Bağımsızlık ve Bayes Ağları

Koşullu bağımsızlık sadece olasılık teorisinin temel kavramlarından birisi değildir, aynı zamanda veri analizi ve olasılık modelin oluşturulmasında da temel kavramlardandır. Örnek olarak dede ve torun ilişkisi sadece babanın varlığından dolayıdır. Dedenin ve babanın karakterinin bilinmesi bize, sadece babanın özelliklerinin bilinmesinden daha fazla bilgi vermez. Burada dede ve torun, babaya göre koşullu bağımsız konumdadır (Gavai, 2009).

Koşullu bağımsızlık yöntemi sayesinde bayes ağlarında olasılıksal çıkarsama yapılması uygulanabilir duruma gelmektedir. Zincir kuralı gibi geleneksel yöntemler kullanıldığı yapılarda olasılık dağılımlarının tümünden dikkate alınması gerekmektedir. Bu yöntem, düğümlerin koşullu olasılık tablolarının oluşturulmasında yüksek miktarda olasılık girişine neden olabilmektedir. Bu geleneksel çıkarım yaklaşımında her biri ikili duruma sahip olan “n” değişkenin olasılık tablosunun oluşturulması 2^n girişe neden olacaktır. Örnek olarak (A, B, C, D, E, F) olarak altı değişkeni olan bir olasılıksal problemin bileşik olasılıksal dağılımı denklem 2.2’de görüldüğü gibidir (Ogunsanya, 2012):

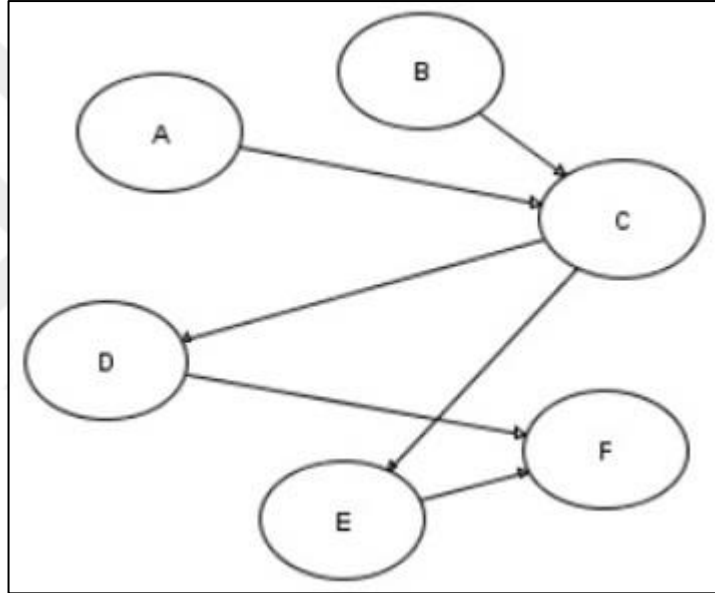
$$P(A,B,C,D,E,F)=P(A).P(B|A).P(C|A,B).P(D|A,B,C).P(E|A,B,C,D).P(F|A,B,C,D,E) \quad (2.2)$$

Bu zincirleme bağlı yapının olaylar sırasının durumunu gösteren grafiksel modelini aşağıdaki Şekil 2.9’daki gibi gösterelim. Bu zincirlemede A ile etiketlenmiş olan olay ilk bilinen olay olmakla birlikte bunu B ile etiketlenmiş olay takip etmektedir. Bundan dolayı B olayı sadece A olayına bağlıdır. Yine aynı çıkarım ile C olayı da B ve A olaylarına bağlıdır yorumlarını yapabiliriz (Ogunsanya, 2012).



Şekil 2.9 Olasılıksal modelin zincir kuralı kullanılarak grafiksel gösterimi (Ogunsanya, 2012)

Bu örnekte, son olay olarak gözükten (F) olayının olasılık tablosunun oluşturulabilmesi için 64 tane giriş yapılmasına ihtiyacımız vardır. Buna karşılık, bayes ağları bileşik olasılık dağılımlarını ifade ederken değişkenler arasındaki bağımsızlığı kullanır. Bu durumu gösterebilmek için aralarındaki bağımlılıkları şu şekilde olan bir problem konu alalım; değişken B ve A, değişken C'nin bağımsız nedensellik faktörüdür. D ve E değişkenleri C değişkenine bağlıdır. Değişken D ve E, değişken F'nin bağımsız nedensellik faktörüdür. Bu bilgilerden yola çıkarak küçültülmüş olan yeni grafiksel modeli Şekil 2.10'daki gibi tanımlayabiliriz (Ogunsanya, 2012):



Şekil 2.10 Bayes ağı bileşik olasılık dağılımı gösterimi (Ogunsanya, 2012)

Yukarıdaki yeni bayes ağlarının bileşik olasılık dağılımı gösterimi ise şu şekilde olacaktır (Ogunsanya, 2012):

$$P(A,B,C,D,E,F)=P(A).P(B).P(C|A,B).P(D|C).P(E|C).P(F|D,E) \quad (2.3)$$

Daha önce belirtilen modelde bileşik olasılık dağılımı için 2^6 yani 64 adet olasılık girişine ihtiyaç var iken, bayes ağları sayesinde bu değer 8'e düşmektedir. Tablo 2.2'de koşullu olasılık tablosunun bütün değişkenler için değerleri görülmektedir. Tam bileşik olasılık dağılımı modeli için 126 olasılık değerinin girilmesine ihtiyaç

duyuluyorken, bayes ağıları modeli için toplam ihtiyaç duyulan olasılık girişi sadece 28’dir (Ogunsanya, 2012).

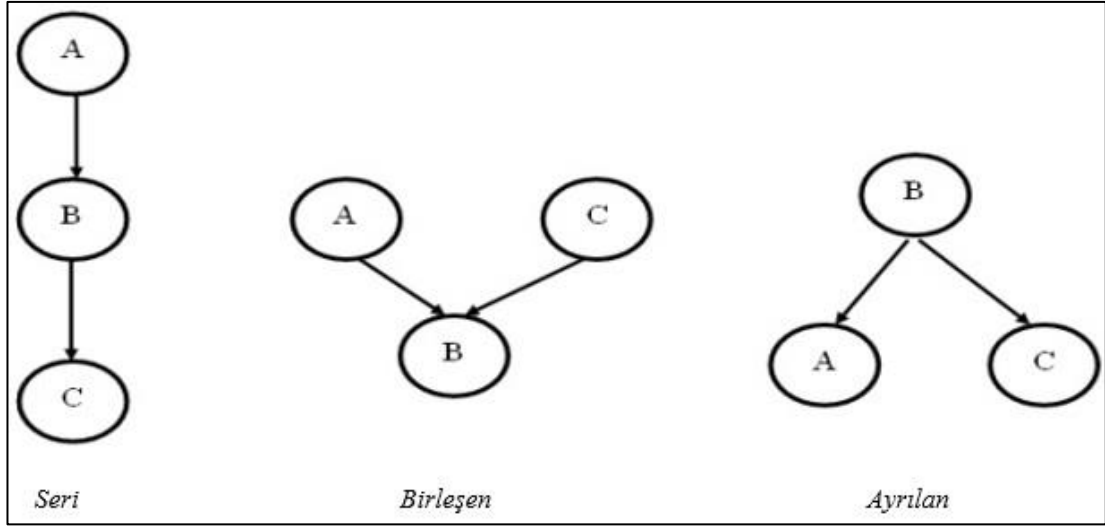
Tablo 2.2 Bayes ağ gösterimine göre koşullu olasılık tablosu azaltılması (Ogunsanya, 2012)

Değişken	Bileşik Dağılım	Olasılık	Bayes Ağları Modeli	
	Olasılık	Sayı	Olasılık	Sayı
F	$P(F A,B,C,D,E)$	64	$P(F D,E)$	8
E	$P(E A,B,C,D)$	32	$P(E C)$	4
D	$P(D A,B,C)$	16	$P(D C)$	4
C	$P(C A,B)$	8	$P(C A,B)$	8
B	$P(B A)$	4	$P(B)$	2
A	$P(A)$	2	$P(A)$	2

2.2.1.3 Bayes Ağlarında Bilginin Gösterilmesi

Bayes ağ modellerinin yapısı seri (lineer), birleşen (diverging) ve ayrılan (converging) olmak üzere üç ayrı bağlantıdan oluşmaktadır. Bu bağlantılar verilen kanıtlar çerçevesinde değişkenlerin bağımsız veya bağımlı olduğunun anlaşılmasını sağlamaktadır (Gavai, 2009).

Şekil 2.11’de gösterildiği üzere seri bağlantılarda B düğümü, A ve C nin ortasında yer almaktadır. Birleşen bağlantılarda ise A ve C, B düğümünün ebeveynleri konumundadır. Birbirlerinden ayrılan bağlantı yapılarında ise B düğümü A ve C düğümlerinin ebeveyni konumundadır (Ogunsanya, 2012).



Şekil 2.11 Bayes ağı yapısında bağlantı modeli (Ogunsanya, 2012)

Yukarıdaki Şekil 2.11’de gösterilmiş olan seri bağlantı durumunu ele alırsak, burada A olayının B olayı üzerinde bir etkisi olduğunu ve dolaylı olarak C olayı üzerinde de bir etkisi olduğunu söyleyebiliriz. Yani A olayı hakkında bildiğimiz kanıtların B olayının ve dolaylı olarak C olayının kesinliğini etkiler. Tersini düşünüldüğünde C olayı da A ve B olaylarını etkileyecektir. Diğer yandan B olayının durumu bilinir ve bağlantı kanalı kesilir ise A ve C olayları birbirinden bağımsız olurlar. Bu duruma bilinen B olayı için A ve C olayları d-ayrı denir. Özetleyecek olursak, döngü içerisindeki değişkenin durumu bilinmediği bağlantılarda kanıtlar seri bağlantılar yoluyla aktarılabilir (Jensen ve Nielsen, 2007).

Birleşen bağlantılara ait şekiller yorumlanırken ise biraz daha dikkat gösterilmesi gerekmektedir. Şekil 2.11 üzerinde incelersek; eğer B olayı hakkında ebeveynleri olan A ve C olaylarından çıkarım yapabileceklerimizin dışında başka bir şey bilmiyorsa bu durumda ebeveynler bağımsız kabul edilir. Ebeveynlerden birisi hakkındaki kanıtlar, diğer ebeveynlerin B olayı üzerindeki gerçekliklerini değiştirmez. Bir olayın olası bir nedeninin bilinmesi bize diğer olası nedenler hakkında hiçbir şey söylemez. Ancak sonuçlarla ilgili bir şey biliniyorsa, olası bir nedenden dolayı bilgi bize diğer nedenler hakkında bir şeyler söyleyebilir (Jensen ve Nielsen, 2007).

Ayrılan bağlantı yönteminde ise düğümler arasında etkileşim B düğümünün durumu bilinmediği sürece devam etmektedir. Şekil 2.11 üzerinden

değerlendirdiğimizde A ve C olayları, verilen bir B olayı için d-ayrılır. Eğer B olayı somutlaştırılırsa, çocukları arasındaki iletişimi engeller (Jensen ve Nielsen, 2007).

2.2.2 Bayes Ağlarının Oluşturulma Süreci

Bayes ağlarında değişkenler arasındaki ilişkiler kurulurken iki farklı yöntemden faydalanılmaktadır. Birincisinde bayes ağları uzman görüşlerine başvurularak oluşturulurken, ikincisinde bir veri setinden faydalanılarak bayes ağları oluşturulmaktadır. Uzman görüşlerine başvurularak oluşturulan bayes ağlarının en önemli avantajı, olasılıksal açıdan yapılan analizlerin ve oluşturulan senaryoların aynı zamanda nedensel ve açıklayıcı bir tabana da dayanmasıdır. Veri setinden faydalanılarak oluşturulan bayes ağlarında ise değişkenler arasındaki ilişkiler sayısal ve istatistiki yöntemler ile kuruldukları için, uzman görüşü ile kurulmuş olan bayes ağlarına göre daha tarafsız oldukları söylenebilir. Ayrıca her iki yöntemin kullanabileceği çalışmalar ve ağ yapılarının oluşturulma süreçleri arasında ciddi farklılıklar mevcuttur (Çinicioğlu, Ekici ve Ülengin, 2015). Bu çalışmada olasılıkların belirlenmesi sürecinde uzman görüşlerinde faydalanılmıştır.

Bayes ağ yapısının oluşturulmasında en çok kullanılan yöntemlerden birisi uzman görüşlerine başvurulmasıdır. Araştırma problemi ile ilgili ulaşılabilecek yeterli ve güvenilir veri mevcut değil ise uzman görüşlerinden faydalanılarak ağ yapısının oluşturulması mümkündür. Görüşlerine başvuru alan uzmanlar araştırılan alan ile ilgili bilgi sahibi olan kişiler olacakları için bayes ağı bileşenleri olan düğümler, düğümler arası ilişkiler ve olasılıklar hakkında analizler konusunda yardımcı olacaklardır. Bayes ağ modelinin oluşturulması birbirini takip eden şu adımlardan oluşmaktadır: Değişkenlerin belirlenmesi, uzman görüşü veya mevcut verilerden faydalanılarak ağın nitel bölümünün ortaya çıkartılması ve uzman görüşü veya mevcut verilerden faydalanılarak nicel bölüm olan koşullu olasılıkların değerlendirilmesi (Ogunsanya, 2012).

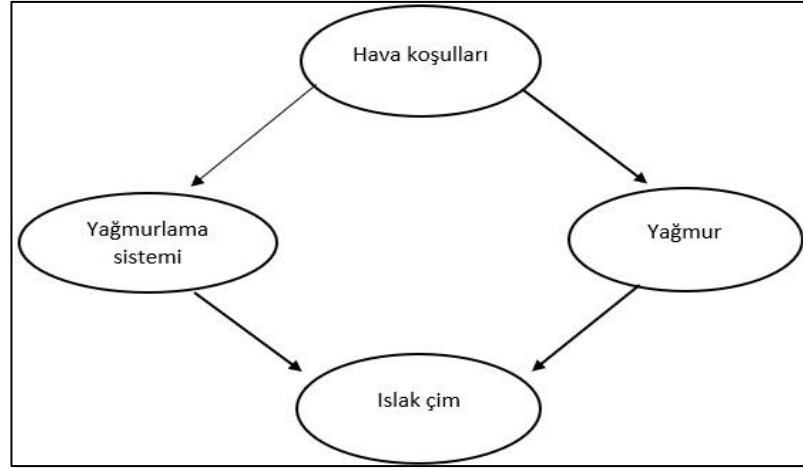
2.2.2.1 Değişkenlerin Belirlenmesi

Değişkenlerin belirlenmesi her zaman çok kolay bir durum değildir ve Heckerman değişkenlerin belirlenebilmesi için aşağıdaki tavsiyelerde bulunmaktadır (Heckerman, 1996):

- Öncelikle model amacının tahmin, keşif veya açıklama mı olduğuna karar verilmelidir. Yani modelin hedefi belirlenmelidir.
- Problemlerle ilgili olabilecek olası gözlemler tanımlanmalıdır.
- Ağın karmaşık yapısı da göz önünde bulundurularak, gözlemlerin alt kümeleri belirlenmelidir.
- Belirlenen değişkenlerden ortak temel sonuca neden olmayanlar ve bütün kapsayan durumlar belirlenmelidir.

Jensen ve Nielsen tarafından bayes ağı modeli oluşturulmasında kullanılan değişkenler üç farklı şekilde ifade edilmiştir. Bunlardan birincisi hipotez değişkenleridir. Bunlar sonuç değişkenleri olarak ifade edilmektedir ve direk olarak gözlemek mümkün değildir. İkinci tip ise gözlemlenebilen bilgi değişkenleridir. Bunlar modele giriş sağlamaktadır ve hipotez ile ilgili kanıt değişkenleridir. Son olarak aracı değişkenler bayes ağlarına özel amaçlar için tanıtılır. Örneğin koşullu olasılık tablolarının basitleştirilmesi veya olasılık dağılımlarının azaltılması için kullanılırlar (Jensen ve Nielsen, 2007).

Jensen ve Nielsen tarafından belirtilmiş değişken önerileri çerçevesinde, çimenlerin ıslak veya kuru olması durumunun tahmin edilmesinde kullanılan basit bir bayes ağ yapısı Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Burada “hava koşulları” ile etiketlenen kök düğüm güneşli, bulutlu ve yağmurlu gibi üç olası değeri olan kategorik bir düğümdür. “Hava koşulları” düğümü burada gözlemlenebilir yani kanıt düğüm konumundadır ve havanın anlık olarak gözlemlenen değerini göstermektedir. Ağ yapısında “yağmurlama sistemi” ve “yağmur” olmak üzere iki ara düğüm ve “ıslak çimen” olmak üzere bir hedef düğüm yer almaktadır. Bütün bu düğümlerin durumları sırası ile “açık, kapalı”, “evet, hayır” ve “ıslak, kuru” şeklinde boolean türündedir (Ogunsanya, 2012).



Şekil 2.12 Basit bir bayes ağ modeli (Ogunsanya, 2012)

Bu çalışmada değişkenler eski kaza raporları, sektör yayınları, diğer akademik çalışmalar incelenerek ve uzman görüşlerine başvurularak ortaya çıkartılmış ve hata ağacı oluşturulduktan sonra geçiş algoritması kullanılarak bayes ağı sistemine değişkenler aktarılmıştır.

2.2.2.2 Bayes Ağı Nitel Modelinin Oluşturulması

Probleme ait tüm değişkenleri belirledikten sonraki aşama bu değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmektir. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi uzman görüşleri ile oluşturulan nedensellik ilişki analizidir. Uzmanlar bir değişkenin, başka bir değişkenin alabileceği veya alamayacağı değer üzerindeki etkisini tanımlayarak, değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkartırlar (Ogunsanya, 2012).

Bayes ağının grafik bölümü yapısal öğrenme olarak ifade edilir ve ağın niteliksel bölümüdür. Buna karşın koşullu olasılık değerleri ise parametre öğrenme olarak adlandırılmaktadır ve ağın niceliksel bölümüdür (Renooij, 2001).

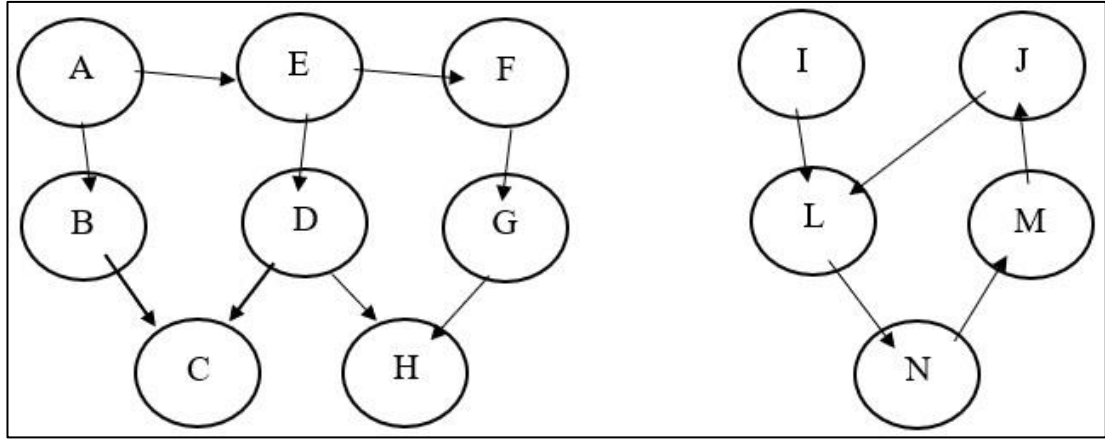
Bu çalışmada yapısal öğrenme, uzman görüşleri de alınarak oluşturulan hata ağacı analizinden bayes ağı sistemine geçiş yapılarak meydana getirilmiştir.

Grafik ağ yapısı; düğümler ve düğümler arasındaki ilişkileri gösteren bağlantılar olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Değişkenleri gösteren düğümlerin isimleri yuvarlak veya dikdörtgen etiketlerin içerilerine yazılırken, ilişkiler ise oklar ile gösterilmektedir (Ben-Gal, 2008). Düğümler arasındaki nedensel varsayımların matematiksel ifadesinin zor olduğu durumlarda ağın grafiksel gösterimi kolaylık sağlamaktadır (Jones, Jenkinson, Yang ve Wang, 2010).

Ağ yapısı, değişkenler arasındaki niteliksel ilişkiyi yakalamalıdır. Özellikle iki düğüm bir diğeri etkiliyor veya nedeni oluyorsa bu iki düğüm etki yönünü gösterecek şekilde direk olarak bağlanmalıdır (Korb ve Nicholson, 2004).

Bayes ağ yapısı hakkında konuşulurken değişkenler arasında ilişkilerden aile ilişkisi olarak bahsedilir. Kendisine okların yönlendirilmiş olduğu düğüm “çocuk düğüm”, okların kendisinden çıktığı düğümlere ise “ebeveyn düğüm” denilmektedir. Bu aile ilişkisi biraz daha genişletilirse, düğümler “atalar” ve “torunlara” sahip olabilirler. Düğümler arasında bir zincir meydana gelmesi durumunda, zincir içerisinde ilk beliren düğüm ata düğüm ve zincire son giren düğüm torun düğüm olarak ifade edilir. Değişkenleri ifade ederken sıklıkla kullanılan diğer terminoloji ise ağaç benzetmesidir. Bu terminolojide kendilerine hiç ok yönlendirilmemiş yani ebeveyni bulunmayan düğümlere “kök düğüm” denir. Çocuk düğümler kendisinden ok çıkmaması durumunda “yaprak düğüm” olarak adlandırılmaktadır. Bayes ağ sisteminde kök düğüm orijinal nedeni gösterirken, yaprak düğüm ise son etkiyi belirtmektedir (Korb ve Nicholson, 2004).

Korb ve Nicholson tarafından yapılmış olan üst paragraftaki tanımlamadan yola çıkarak şekil 2.13’de gösterilen bayes ağ yapısında A değişkeni B ve E değişkeninin ebeveynidir. Bu konumda B ve E değişkeni, A değişkeni için çocuk düğüm olarak adlandırılır. Aynı zamanda E değişkeni D ve F’nin ebeveyni, B ve D’de C değişkeninin ebeveyni konumundadır. A ve I değişkeni kendisine hiç ok yönlendirilmemiş olmasından dolayı kök düğümdür. I, C ve H ise yaprak düğümleri göstermektedir.



Şekil 2.13 Örnek bayes ağ yapısı (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenerek ağ yapısının oluşturulmasında uzman görüşüne dayanan nedensel ilişki analizi ve veri setinden yararlanılan algoritmalar olmak üzere iki temel yöntem kullanılmaktadır (Ogunsanya, 2012).

Bu çalışmada daha önce bahsedildiği üzere olasılıkların belirlenmesi sürecinde uzman görüşlerinden faydalanılmıştır.

2.2.2.2.1 Nedensel İlişki Analizi. Bayes Ağ yapıları meydana getirilirken iki farklı yöntem mevcuttur. Birincisi yöntem bayes ağ yapısında yer alan değişkenler arasındaki nedensel ilişki yönlerinin uzmanlara başvurularak belirlenmesidir. Bu yaklaşımda ağ yapısı içerisindeki değişkenlerin koşullu olasılıkları, değişkenler arasındaki bağımlılık ilişkilerinin ve bu ilişkilerin (ebeveyn-çocuk) doğrultusunun belirlenmesinden sonra mevcut bir algoritma aracılığı ile belirlenmektedir (Çinicioğlu, Atalay ve Yorulmaz, 2013).

Bu yaklaşımda değişkenlerin kendi aralarında direkt olarak bağımlı veya başka değişkenler üzerinden bağımlı olup olmadığı tespit edilmektedir. Bağımlılığın tespit edilmesinde uzmanlara sorulması gereken soru kalıbı “Bir değişkenin değeri hakkında bir şeyler bilinmesi senin diğer değişken üzerindeki inancını etkiliyor mu?” şeklindedir. Bu soruya olumlu cevap alındıktan sonra hangi tür bağımlılığın olduğu tespit edilir. Eğer iki değişken birbirlerine, diğerlerinin değerleri dikkate alınmadan bağımlı ise direk olarak bağlanmalıdır. Bazı durumlarda ise değişkenler arasında bağımlılık

sadece koşullu bağıllık olduğu zaman meydana gelmektedir. Böyle olduğu zaman değişkenler arasındaki bağımlılık ilişkisi d-ayrı kriterinin incelenmesi ile mümkün olmaktadır (Korb ve Nicholson, 2004).

Bu yaklaşım ile oluşturulan bayes ağları, ebeveyn ve çocuk düğümler arasında neden-sonuç ilişkisini ortaya koyması sebebiyle bu ağlar “nedensel bayes ağları” olarak adlandırılırlar (Laskey ve Mahoney, 1997).

2.2.2.2.2 Veri Setinden Öğrenme. Bayes ağ yapıları meydana getirilirken başvuru olan ikinci yöntem ise bir veri setinden faydalanılarak ağ yapısının oluşturulmasıdır. Bu yöntemde algoritmalar kullanılmaktadır ve bu algoritmalar kullandıkları metotlara göre kısıt bazlı metotlar ve arama ya da skor bazlı metotlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kısıt bazlı metotlarda değişkenler arasındaki koşullu olasılık ilişkilerinin geçerliliği istatistiksel testler aracılığıyla yapılmaktadır. Arama ve skor bazlı metotlarda ise veri setinden faydalanılarak meydana getirilecek olan ağ yapısı arasındaki uyum istatistiksel bir skor aracılığıyla denir ve bu doğrultuda veri setine göre en uygun ağ yapısı seçilir (Çinicioğlu ve diğer., 2013).

2.2.2.2.3 Koşullu Olasılık Değerlerinin Belirlenmesi. Bayes ağlarının avantajlarından bir tanesi de kompleks sistemlere ait belirsiz durumların neden ve sonuç ilişkilerinin koşullu olasılık tabloları ile temsil edebilmesidir. Verilerin ne şekilde elde edildiğine bağlı olarak (gözlemler, ön bilgiler veya uzman görüşleri) koşullu olasılık tabloları farklı şekillerde oluşturulabilir (Rohmer, 2020).

Bayes ağlarında değişkenler düğümler ile gösterilirken, bu düğümler arasındaki ilişkiler oklar ile belirtilmektedir. Düğümler arasındaki ilişkinin gücü ise her bir düğüme eklenen koşullu olasılık tabloları ile ifade edilmektedir. Bu tablolar bir düğümün belli bir koşul altında etkileşim içerisinde olduğu diğer düğümler de dikkate alınarak alabileceği olasılığı derecelendirmektedir (Castelletti ve Sessa, 2007).

Değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler bayes ağlarında somutlaştırılırlar. Bu nedenle her düğümün koşullu olasılık tablosu, yani alt düğümlerin durumları ve

ebeveyn düğümlerin giriş değerleri belirlenmelidir. İlk olarak önceki bilinen kanıtlar yönlendirilmiş grafiğe dahil edilir, sonrasında elde edilen yeni bilgiler ışığında önceki bilgiler güncellenir. Ayrıca geriye dönük analiz (backward inference) de yapılarak etkilenen faktörlerin analizi yapılabilir (Jiang, Lu, Yang ve Li, 2020).

Bayes ağ yapısında yer alacak düğüm sayıları ile ilgili bir sınırlama bulunmamaktadır. Ağ yapısı içerisinde “n” ifadesini yapı içerisinde yer alacak düğüm sayısı olarak düşünürsek, bayes ağ yapısında bulunan düğümlerin sahip oldukları koşullu olasılıkların çarpımı yolu ile ağ yapısının birleşik olasılık dağılımını meydana gelmektedir ve formül gösterimi denklem 2.4’de şekildedir (Çinicioğlu ve diğer., 2013).

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{Ebeveyn}(X_i)) \quad (2.4)$$

Bayes ağlarında yön verilmiş döngüsüz grafik (DAG), düğümler arasındaki nedensel bağımlılığın yapısını temsil eder ve bir bayes ağında nedensel muhakemenin niteliksel kısmını verir ve böylece değişkenler ile karşılık gelen durumlar arasındaki ilişkiler her bir düğüme eklenmiş olan koşullu olasılık tablosu içeren nicel kısmı verir. Örnek bir koşullu olasılık tablosu Tablo 2.3’de verilmektedir (Trucco ve diğer., 2008).

Tablo 2.3 X_n için koşullu olasılık tablosu örneği (CPT)

X ₁		Durum 1		Durum 2	
X ₂		Durum 1	Durum 2	Durum 1	Durum 2
X _n	Durum 1	0,9	0,2	0,5	0,3
	Durum 2	0,1	0,8	0,5	0,7

Yeterli veri setlerinin olduğu durumlarda koşullu olasılık tablolarının parametre setinden elde edilmesi mümkündür fakat yeterli verinin bulunamaması durumunda olasılıkların tahmini yöntemi kullanılmaktadır (Heckerman, 1996).

Bu çalışmada bayes ağları geçiş algoritması kullanılarak hata ağacı üzerinden oluşturulduğu için düğümler arasındaki ilişkilerin gücünü gösteren koşullu olasılık

tabloları hata ağacındaki mantıksal kapılar ve uzman görüşleri aracılığıyla ortaya konulmuştur.

2.2.2.2.4 Önsel Olasılıkların Uzman Görüşü Kullanılarak Belirlenmesi. İyi bir hata analizinin en temel yolu hata veya arızaya sebebiyet veren kök nedenlere ait olasılıkların ortaya çıkartılmasıdır. Preysl'e göre kök neden olasılıklarının ortaya çıkartılabilmesi için yaygın olarak kullanılmakta olan üç metot bulunmaktadır. Bunlar istatistiksel veriler, ekstrapolasyon yöntemi yani belirli bir zaman aralığının kapsadığı dönem veya verilerin dışındaki değerlerin geçmiş zamana ait değerlerin karşılaştırılması yoluyla tahmin edilmesi ve uzman görüşlerine başvurulmasıdır (Preysl, 1995).

Kök nedenlerin olasılıkların ortaya çıkartılması için başvuru kaza raporları, literatür taraması ve sektör yayınları muhteviyatındaki verilerin yetersiz olması, güvenilirliğinin az olması ve ön yargılı olması gibi sebeplerden ötürü olasılıkların tespitinde uzman görüşlerine başvurulması ağ yapılarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Druzdzel ve Van de Gaag, 1995).

İstatistiksel yöntem doğrudan geçmiş verilerinin test edilerek olasılıkların hesaplanmasını içerir. Ekstrapolasyon yöntemi ise geçmiş verilerin ışığında model tahmini yapılmasını içerir. Uzman görüşleri kullanma yönteminde ise olasılık tahminlerinin doğrudan uzmanlar tarafından yapılmasını içermektedir (Lavasanı, Zendegani ve Çelik, 2015).

Uzman görüşlerine başvurulması; kısıtlamalar veya kaynak yetersizlikleri nedeniyle yeterli veriye ulaşılabilirliğin belirsiz olduğu bir alan üzerinde uzman görüşlerinin alınarak, sentezlenmesidir. Uzman görüşlerine başvurulması genel olarak belirsizlik durumlarını ölçülebilir hale getirmek içindir. Uzman görüşlerinin kullanıldığı alanlara örnek olarak karar analizleri, psikoloji, risk analizi, bayes istatistiği, matematik ve felsefe alanları verilebilir (Lavasanı ve diğer., 2015).

Uzman görüşlerine başvurulurken eksiksiz uzman görüşlerine ulaşmak her zaman kolay değildir. Uzmanların seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi heterojen uzman (ör.hem bilim adamı hem mavi yaka çalışan seçilmesi) veya homojen uzman (ör.sadece bilim adamlarından oluşan uzman grubunun seçilmesi) gruplardan hangisine başvurulacağıdır. Farklı iş tecrübelerinin uzman görüşleri üzerindeki etkisi homojen uzman gruplarında daha düşük olacağı varsayılmaktadır. Heterojen uzman gruplarının homojen uzman gruplarına göre avantajı ise tüm olası fikirlerinin göz önünde bulundurulabilmesi olarak düşünülebilir (Lavasani ve diğer., 2015).

Bu araştırma çalışmasında geçmişe dönük yeterli sayıda ulaşılabilir ve güvenilir veri mevcut olmadığı için, düğümlerin önsel olasılıklarının tahmin edilebilmesinde uzman görüşlerine başvurulmuştur.

Önsel olasılıkların ortaya çıkartılması süreci ana olarak şu beş başlık altında toplayabiliriz:

Uzmanların seçilmesi; olasılık değerlendirmelerinde farklı tecrübelere sahip birden fazla uzman seçimi değerlendirme açısından avantajlıdır. Birden fazla uzmandan ayrı ayrı toplanmış görüşlerin tek bir görüşe çevrilmesi yaygın uygulanan yöntemlerden birisidir. Bir diğer yöntem ise uzmanların hepsinin bir araya toplanarak aynı anda değerlendirmenin yapılmasıdır. Bu sistemin dezavantajı ise uzmanlardan birisinin baskın karakterde olması durumunda diğer uzman görüşlerini de etki altına alabilecek olmasıdır. Uzmanlar belirlendikten sonra uzmanlara çalışmanın amacı ve olasılıkların ortaya çıkarılma süreci detaylı olarak açıklanmalıdır (Clemen ve Winkler, 1999).

Uzmanların eğitilmesi; uzman seçimi sonrasındaki süreç uzmanların eğitilmesidir. Geçmiş tecrübeler bayes çalışmalarında uzmanların olasılık değerlendirmelerine her zaman istekli bir şekilde yanıt vermediklerini göstermiştir. Bu sebeple seçilmiş uzmanlara araştırmanın amacı, konusu ve kendilerine yöneltien soruları ne şekilde cevaplayacakları konusunda bilgilendirme verilmelidir (Coupe, Gaag ve Habbema, 1999).

Uzmanlara sorulacak soruların hazırlanması; belirlenmiş çocuk düğümler arasındaki ilişkilerin ortaya çıkartılması yani olasılıkların hesaplanabilmesi için uzmanlara sorular sorulmalıdır. Bu sorular önceden belirlenmiş olmalı ve uzmanlara yöneltmeden önce cevapların nasıl ve hangi ölçeğe göre verileceği uzmanlara açıklanmalıdır (Cooke, 1991).

Uzman ifadelerinin ortaya çıkartılması; uzmanlar yöneltile soruları yanıtlarken uygulayıcı uzmanları yönlendirmekten kaçınmalıdır. Uygulayıcı uzmanların soruları yanlış değerlendirmesini önlemek adına değişkenleri ve soruların açıklamasını ve amacını açıklamalıdır (Van der Gaag, Renooji ve Witteman, 1999).

Sonuçların doğrulanması; elde edilen olasılık değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Temel olay olasılıklarının toplamalarının %100 e eşit olması gerekmektedir. Elde edilen olasılıkların bayes ağ yapısına girilerek işleme sokulması ve anlamlılıklarının kontrolü de bir diğer yaklaşımdır (Renooji, 2001).

2.2.2.2.5 Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi. Olasılıkların değerlendirilmesinde her uzmanın farklı bir görüşü bulunduğu için uzman görüşlerinin uygun şekilde birleştirilmesi işleminin yapılması gerekmektedir. Birden fazla uzman görüşünün olduğu durumlarda görüşleri birleştirmek için bulanık küme teorisine dayalı olarak farklı birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. 1996 senesinde Hsu ve Chen tarafından ifade edilmiş olan benzerlik birleştirme yöntemi (SAM-Similarity Agreement Method) formülleri en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Bu yönteme göre her bir uzman tarafından sözel değişkenler olarak ifade edilen görüşler, karşılık gelen bulanık sayılara dönüştürülürler. Ayrıntılı hesap algoritması ise şu şekildedir (Hsu ve Chen, 1996):

Uzman görüşlerinin benzerlik derecesinin hesaplanması (degree of similarity). İki uzmanın sözel değişken olarak belirttiği fikirlerinin yamuk üyelik fonksiyonları $U_1=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $U_2=(b_1, b_2, b_3, b_4)$ şeklinde tanımlanırsa iki uzmanın benzerlik fonksiyonu aşağıdaki formül ile tanımlanır ve değer 0 ile 1 arasında değişmektedir. Değer büyüdükçe benzerlik derecesi de artmaktadır (Hsu ve Chen, 1996).

$$S_{m,n}=1-\frac{1}{4}\sum_{i=1}^4 |a_i-b_i| \quad (2.5)$$

Her bir uzman görüşünün diğer uzman görüşleri ile benzerlik ortalamasının hesaplanması (average agreement) (Hsu ve Chen, 1996).

$$AA_m=\frac{1}{M-1}\sum_{i=1}^M \sum_{n \neq m} S_{mn} \quad (2.6)$$

Her bir uzman görüşünün diğer uzman görüşlerine göre nispi uyum derecesinin hesaplanması (relative agreement) (Hsu ve Chen, 1996).

$$RA_1= AA_m / \sum_{k=1}^M AA_k \quad (2.7)$$

Uzman konsensus katsayısının belirlenmesi (consensus coefficient). Bu formülde β benzerlik yönteminde iyimserlik katsayısı olarak ifade edilmektedir ve 0 ile 1 arasında değer almaktadır (Hsu ve Chen, 1996).

$$CC_m=\beta.W_m+(1-\beta)RA_m \quad (2.8)$$

Son olarak aşağıdaki formül kullanılarak uzman görüşleri birleştirilmektedir (Hsu ve Chen, 1996).

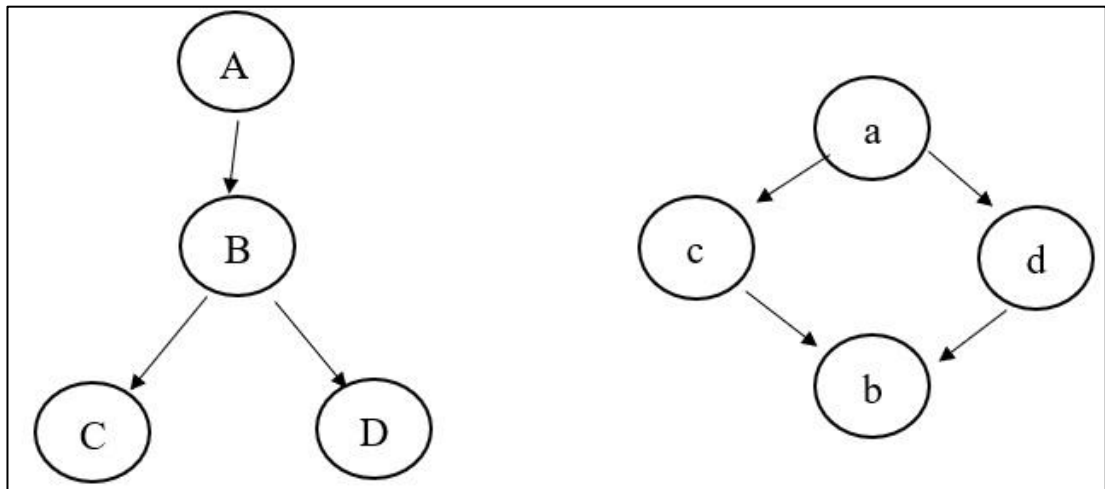
$$E_{AG}=C_1.E_1+C_2.E_2+.....+C_m.E_m \quad (2.9)$$

2.2.3 Bayes Ağlarında Çıkarım

Herhangi bir olasılıksal çıkarım sistemi için temel görev, kanıt düğümleri için değerler verilen bir dizi sorgu düğümünün son olasılık dağılımının hesaplanmasıdır. Bu temel görev inanç güncellemesi (belief updating) veya olasılığa dayalı çıkarsama (probabilistic inference) olarak bilinmektedir. Bayes ağlarında çıkarım çok esnek, çünkü herhangi bir düğüme ait kanıt diğer düğümlerin durumları güncellenirken bile girilebilmektedir (Korb ve Nicholson, 2004).

Bayes ağları, değişkenler arasındaki koşullu bağımlılık ilişkilerini gösterebilmesi, tek bir bağımsız değişkene bağımlı kalmaması, yeni elde edilen bilgiler ışığında ağ yapısı ve sonuçların güncellenebilmesi ve tüm bu çıkarımların görsel olarak aktarılabilmesi gibi özellikleriyle önemli bir grafiksel modeldir. Olasılıksal bir model olan bayes ağları yapısı içerisindeki değişkenlerin ve aralarındaki ilişkinin görsel olarak yansıtılabilmesi, ağ yapısı oluşturulduktan sonra yeni elde edilen bilgilerin ağ yapısı içerisine dahil edilebilmesi ve mevcut olasılıkların güncellenebilmesi gibi özellikleri sayesinde diğer geleneksel analiz yöntemlerine kıyasla önemli avantajlara sahiptir. Bayes ağları çıkarım sürecini, yeni bilgiler elde edildikçe ağ yapısının ve olasılıkların güncellenebilmesi yani bayes teoreminin sürekli uygulanması olarak tanımlayabiliriz. Bayes ağlarının bir diğer avantajı da yapı içerisindeki tüm değişkenlerin koşullu olasılık ilişkilerini yansıtmaları ve elde edilen yeni bilgiler ışığında değişkenlerin olasılıklarının güncellenebilmesi, böylelikle ağ yapısının gerçekçi bir şekilde oluşturulmasını mümkün hale getirebilmesidir (Çinicioğlu ve diğer., 2013).

Bayes ağ yapısında değişkenler arasındaki ilişkilere bağlı olarak tekli veya çoklu bağlantılar olabilir. Şekil 2.14’de gösterildiği gibi tekli bağlantılarda iki düğüm arasında birden fazla bağlantı yolu olmazken çoklu bağlantılarda iki düğüm arasında iki veya daha fazla bağlantı yolu olabilir (Ogunsanya, 2012).



Şekil 2.14 Koşullu olasılık tablosu bağlantı gösterimi (Ogunsanya, 2012)

Çeşitli yazılım programlarından faydalanılarak bayes ağlarının oluşturulması mümkündür. Bu çalışmada “NETICA” yazılımı kullanılmıştır.

2.2.4 Bayes Ağlarında Olasılıkların Güncellenmesi

Bayes ağlarının en önemli kullanımı, elde edilen yeni bilgiler ışığında önsel olasılık değerlerinin güncellenebilmesidir. Önsel olasılıkların güncellenmesi ile elde edilen yeni olasılıklar sonsal olasılıklar olarak adlandırılmaktadır. Bayes ağlarının önsel olasılıkları güncelleyebilme özelliği sayesinde yeni gelişen durumlar sonrasında olasılıkları güncelleyerek, sonsal olasılıkları hesaplayabilir ve sonsal olasılıklara dayalı olarak tahminlerde bulunabiliriz (Kelangath, Das, Quigley ve Hirdaris, 2011).

Elde edilen yeni bilgiler ışığında mevcut bilgilerin güncellenmesi arzu edilir ve sonsal olasılıklar olarak adlandırılan yeni olasılıklar hesaplanarak önsel olasılık değerleri güncellenir. Denklem 2.10’da verilmiş olan bayes teoremi bu olasılık hesaplamalarını yapabilmek için imkan sağlamaktadır (Eleye-Datubo, Wall, Saajedi ve Wang, 2006).

Bayes ağ yapısı içerisindeki basit olayların önsel olasılıkları, kanıt olarak modele manuel giriş şeklinde tanımlanabilir ve böylece bayes formülü sayesinde bayesci çıkarım tanımlanmış olur. Yönlendirilmiş bayes grafiğinde önsel olasılık bilgileri, giriş yapıldıktan sonra girilen kanıtlar her iki yönde de yayılır. Önsel olasılıkların güncellenmesi düşüncesi ise bu aşamadan sonra belirmeye başlar ve girilen olasılık değerlerinin güncellenerek sonsal olasılıkların bulunması amaçlanır. Bayes analizinin herhangi bir bölümünde bir istenmeyen olaya sebebiyet veren farklı faktörlerin etkileri görülmek istenirse geriye dönük analiz (backward analysis) yapılması düşünülebilir. Böylece elde edilebilecek her bir yeni bilgi için hesaplanmış olan sonsal olasılıklar, gelecekte yapılacak yeni risk değerlendirmeleri için önsel olasılık olarak düşünülebilir (Baksh, Abbassi, Garaniya ve Khan, 2018).

Bayes teoremi, denklem 2.10 ve Tablo 2.4’de ifade edilmektedir. $P(H/D)$ ifadesi D kanıtı verildiğinde H değişkeninin olasılığını vermektedir. $P(D)$ marjinal olasılık

olmakla birlikte normalleştirme faktörüdür. Bu faktör H'nin her değeri için denklemdaki kesrin payının toplamına eşittir (Jensen ve Nielsen, 2007).

$$P(H|D) = P(H) \frac{P(D|H)}{P(D)} \quad (2.10)$$

Tablo 2.4 Bayes teoremi bileşenleri (Jensen ve Nielsen, 2007)

İfade	Tanım
$P(H D)$	D kanıtı etkisi dikkate alındığında H hipotezinin sonsal olasılığını göstermektedir.
$P(H)$	H hipotezinin D kanıtının etkisinden bağımsız önsel olasılığını göstermektedir.
$P(D H)$	D kanıtının H hipotezinde gerçekleşmesi için oluşma olasılığı
$P(D)$	D'nin marjinal olasılığı olup, matematiksel rolü normalleştirme sabitidir.

Bu araştırma çalışmasında NETICA yazılımı sonsal olasılıkları tahmin etmek ve önsel olasılıkları güncellemek için kullanılmıştır.

2.2.5 Bayes Ağlarında Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi (sensitivity analysis), sonuçların yani düğümlere ait elde edilen olasılıkların küçük değişikliklere ne kadar duyarlı olduğunun analiz edilmesidir (Jensen ve Nielsen, 2007).

Bayes ağlarında duyarlılık analizi birleştirilen modellerin parametreleri çeşitlendiğinde, birleştirilmiş olasılık değerlerindeki değişimi araştırmak açısından önemlidir ve analiz modelleme çalışmasının amacına yönelik karar vermede yardımcı olabilir (Clemen ve Winkler, 1999). Duyarlılık analizi ile modelin yeni girdilere ve parametre değerlerindeki değişikliklere ne kadar duyarlı olduğuna bakılır. Bu sayede hem ağ sisteminin doğru olduğunu doğrulamak hemde sistemin uygulamada nasıl kullanılacağını anlamak mümkün hale gelir (Korb ve Nicholson, 2004).

Cinicioglu, Atalay ve Yorulmaz'ın 2013 senesinde yaptıkları çalışmada duyarlılık analizini “Duyarlılık analizi aracılığıyla ağda yer alan herhangi bir değişkenin ağdaki diğer hangi değişkenlerin durumlarındaki değişime hassasiyet gösterdiğinin tespiti

mümkündür. Duyarlılık analizi sonuçları varyans azalım değerleri olarak verilmektedir. Varyans azalım değerleri bir girdi değişkeninin sahip olduğu değere bağlı olarak seçilen çıktı değişkeninin varyansında beklenen azalma olarak tanımlanmaktadır. Duyarlılık analizinde bir hedef değişken belirlenir. Bu değişken üzerinde yapılan analiz sonucu en yüksek varyans azalım değerine sahip olduğu tespit edilen girdi değişkeninin hedef değişkenin durumları için olan olasılıkları en yüksek miktarda değiştirmesi beklenir” şeklinde tanımlamaktadırlar (Cinicioglu ve diğer., 2013).

Duyarlılık analizi bir bayes ağ modeli içerisindeki parametreler üzerinde herhangi bir yanlışlık veya eksikliğin, modelin çıktısı üzerindeki etkilerinin araştırılması kapsamında çok kullanışlıdır. Duyarlılık analizi yapmanın en kolay yolu ise düğümlere ait parametrelerin değerlerini değiştirmek ve bir kanıt yayma metodu kullanarak yapılan değişikliklerin sonsal olasılıklar (posterior probabilities) üzerindeki etkilerini incelemektir. Eğer bir parametre üzerinde yapılan küçük bir değişiklik, sonuçlarda nispeten büyük farklılıklara yol açıyorsa bu durumda sonuçların değişiklik yapılan parametreye karşı duyarlı olduğu söylenir. Bu durum parametrelerin hassas bir şekilde belirlenmesi ve daha düşük bir duyarlılık için yeniden tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Duyarlılık analizi yapmanın en doğal yolu parametrelerin olasılık değerlerini değiştirmek ve ardından bu değişikliklerin sonsal olasılıklar üzerindeki değişikliklerini incelemektir (Ren, Wang, Jenkinson, Xu ve Yang, 2007).

Bayes ağlarında duyarlılık analizi, istenmeyen bir olayın gerçekleşmesi üzerindeki etkileri en fazla olan faktörlerin belirlenebilmeleri için yapılmaktadır. Geriye dönük duyarlılık analizi yaparak duyarlılık yüzdesi bulunurken; hedef düğümün gerçekleşme olasılığı %100 yapıldıktan sonra oluşan olasılık değeri ile önsel olasılık değerinin farkının, önsel olasılık değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Afenyo, Khan, Veitch ve Yang, 2017).

Duyarlılık analizlerinde karşılıklı bilgi (mutual info), hedef düğüm ve hedef düğümü etkileyen basit olaylar arasındaki ilişkilerin güçlü yönlerini hesaplamak için

kullanılır ve hedef düğümün değeri, hedef düğüm ile karşılıklı bilgi paylaşarak etki eden basit olayların farklı durumları altında hesaplanır (Likun ve Zaili, 2018).

Bu çalışmada duyarlılık analizi yapılırken "NETICA" yazılımı içerisinde yer alan duyarlılık analizi (sensitivity analysis) özelliğinden faydalanarak, hedef düğümlerin gerçekleşme olasılığı %100 yapılmış ve ebeveyn düğümlere ait karşılıklı bilgi (mutual info) ve duyarlılık yüzdeleri hesaplanmıştır.

2.2.6 Bayes Ağlarında Geçerlilik

Geçerlilik bayes ağ modellemesinin sonuçlarına makul ölçüde güven duyulmasını sağlayacağı için önemli aşamalardan birisidir. Modelin kısmi doğrulamasının gerçekleştirilebilmesi için duyarlılık analizi de denilen modelin aşağıdaki paragrafta değinilmiş aksiyomları doğrulaması önemlidir (Jones ve diğer., 2010). Bu çalışmada da ağ yapısının geçerliliği için bu yaklaşım uygulanmıştır.

Her bir ebeveyn düğümün önsel olasılıklardaki hafif bir artış veya azalma, ilgili çocuk düğüm üzerinde göreceli ve anlamlı bir artış veya azalma sağlamalıdır. Her bir ebeveyn düğümün önsel olasılıkları üzerinde farklı oranda ki artışların, çocuk düğümler üzerindeki etkileri tutarlı olmalıdır. Birden fazla ebeveyne sahip olan çocuk düğümler için, örneğin X ve Y ebeveynlerine sahip bir çocuk düğüm üzerinde X ebeveynin tek başına etkisi veya Y ebeveynin tek başına etkisi, X ve Y ebeveynin birlikte yapmış olduğu etkiden büyük olmamalıdır (Jones ve diğer., 2010).

2.2.7 Bayes Ağlarının Denizcilik Alanında Kullanımına İlişkin Yazın Taraması

Yazın taramasında bayes ağlarının çok geniş kullanım alanları bulunduğu görülmüştür. Özellikle belirsiz durumların risk değerlendirmelerinde bayes ağları sıklıkla kullanılmaktadır. Bayes ağlarından ekoloji, sosyoloji, tarım, öğrenme ve geliştirme alanlarında olduğu kadar sağlık sektörü ve karar destek sistemlerinde de yararlanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda denizcilik alanında kullanımı da yaygınlaşmıştır.

Deniz üzerinde yaşanan kazalar belki nadir yaşansalarda hem ekonomi hem de çevre üzerindeki etkileri oldukça büyüktür. Deniz taşımacılığı ve gemi trafiğini daha emniyetli hale getirmek için geçmiş kazalardan ve hatalardan dersler çıkartılarak yeni araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Bayes ağları da istatistik, karar teorisi ve grafik teorisine dayanan bir olasılık modeli sınıfını temsil ettiği için denizcilik üzerine araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kelangath ve diğer., 2011).

Deniz kazalarının risk değerlendirmesinde popüler yöntemlerden birisi olan bayes ağları; geçmiş veri setleri diğer istatistiksel yöntemlerin kullanılması için yeterli olmadığı durumlarda uzman bilgisinden yararlanabilmektedir. Bu özelliği sayesinde bayes ağları, deniz kazalarının nedensellik ilişki analizlerini ortaya çıkartarak risk analizlerinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang ve Thai, 2016).

Denizcilik alanında, bayes ağları ile risk değerlendirmelerinin daha çok güvenilir veriye ulaşımın zor olduğu açık deniz operasyonları, patlama/yangın, petrol kirliliği ve çatışma gibi deniz kazalarını içerdiği görülmektedir. 2010-2020 yılları arasındaki döneme ilişkin yazın taraması yapılmış olup, yayınların başlıcalarına Tablo 2.5 de yer verilmiştir.

Tablo 2.5 Bayes ağlarının denizcilik alanında kullanımına ilişkin yazın taraması

Yazar	Dergi Adı	Yayın Adı	Katkı/Çıktı
Kelangath, Das, Quigley ve Hirdaris (2011)	Ships and Offshore Structures	Risk analysis of damaged ships – a data-driven Bayesian approach	1997 ve 2009 yılları arasında klas kuruluşu denizcilik kaza verileri incelenerek çatışma ve karaya oturma kazalarının analizi yapılmıştır.
Li, Yin, Bang, Yang ve Wang (2012)	Transportmetrica A: Transport Science	Bayesian network with quantitative input for maritime risk analysis	Denizcilik alanında risk değerlendirmelerinde lojistik regresyon ve bayes ağlarını birlikte kullanarak emniyet seviyelerinin karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tablo 2.5 devamı

Qu, Meng ve Li (2012)	Journal of the Transportation Research Board	Analyses and Implications of Accidents in Singapore Strait	Singapur bölgesinde son on yıl içerisinde meydana gelmiş kaza verilerini inceleyerek, kaza alt ve üst sınırlarının tahmini için bayes ağ sistemi kullanılarak model geliştirilmiştir.
Hänninen ve Kujala (2012)	Reliability Engineering and System Safety	Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model	Finlandiya körfezinde yaşanmış gemi çatışma kazalarında insan faktörünün etkisi üzerine bayes ağ metodu kullanılarak yapılmış bir incelemedir.
Martins ve Maturana (2013)	Reliability Engineering and System Safety	Application of Bayesian Belief networks to the human reliability analysis of an oil tanker operation focusing on collision accidents	Kazalarda insan hatalarının analiz edilmesine yönelik yeni bir teknik olarak bayes ağ metodunun kullanılması üzerine yapılmış bir çalışmadır. Hazırlanmış metod petrol tankerlerindeki çatışma kazalarında insan güvenilirlik faktörü üzerine uygulanmıştır.
Konovessis, Cai ve Vassalos (2013)	Journal of Marine Science and Application	Development of Bayesian Network Models for Risk-Based Ship Design	Gemi inşa sektöründe emniyet faktörünün öneminin artışına bağlı olarak, bayes ağ metodu kullanılarak risk modellerinin oluşturulduğu çalışmadır.
Cai vd (2013)	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	A dynamic Bayesian networks modeling of human factors on offshore blowouts	Açık deniz platformlarında insan kaynaklı risklerin niceliksel değerlendirmesi bayes ağ yapısı ile yapılmıştır.
Bouejala, Chaze, Guarnieri ve Napoli (2014)	Safety Science	A Bayesian network to manage risks of maritime piracy against offshore oil fields	Son yıllarda gemilere ve açık deniz platformlarına yönelik artan korsan saldırıları üzerine bayes ağları yöntemi kullanılarak yapılmış risk analizi çalışmasıdır.

Tablo 2.5 devamı

Hänninen (2014)	Accident Analysis and Prevention	Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: Benefits and challenges	Deniz kazalarının önlenmesi adına yapılacak risk değerlendirmelerinde bir modelleme aracı olarak bayes ağlarının kullanımı ve katkıları üzerine yapılmış bir çalışmadır.
Hänninen ve Kujala (2014)	Expert Systems with Applications	Bayesian network modeling of Port State Control inspection findings and ship accident involvement	Baltık Denizinde yaşanmış gemi kazalarına sebebiyet vermiş eksiklikler ile Finlandiya da liman kontrol denetimlerinde gemilerde bulunmuş olan eksiklikler arasındaki ilişkiler bayes ağları üzerinde modellenerek incelenmiştir.
Akhtar ve Utne (2014)	Safety Science	Human fatigue's effect on the risk of maritime groundings – A Bayesian Network modeling approach	Deniz kazalarında risk modellemesi için bayes ağlarının kullanılması üzerine hazırlanmış olan çalışmada, köprüüstü takım yönetiminde yorgunluk ve karaya oturma risklerine yönelik geliştirilmiş bayes ağ metodu sunulmuştur.
Zhao, Zhu ve Soares (2015)	The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety	A Bayesian Network Modelling and Risk Analysis on LNG Carrier Anchoring System	Bir doğalgaz gemisinin emniyetli olarak demir operasyonlarını gerçekleştirebilmesi için potansiyel risklerin belirlenmesi, kaza olasılıklarının ve sonuçlarının hesaplanması amacıyla bayes ağ modeli geliştirilmiştir.
Lehikoinen, Hänninen, Storgard, Luoma, Mantyniemi ve Kuikka (2015)	Environmental Science and Technology	A Bayesian Network for Assessing the Collision Induced Risk of an Oil Accident in the Gulf of Finland	Finlandiya Körfezi ve Baltık Denzinde tehlikeli yük taşıyan gemi sayılarının artması ve yaşanabilecek kazalara ilişkin olasılıksal risk analizi bayes ağları kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 2.5 devamı

Zhang ve Thai (2016)	Safety Science	Expert elicitation and Bayesian Network modeling for shipping accidents: A literature review	Denizcilik kazalarının oluşma sıklığının düşük olması ile birlikte eldeki verilerin risk analizi için yeterli olmaması durumlarında uzman görüşlerinden faydalanılarak risk analizlerinin bayes ağları ile yapılmasına yönelik bir çalışmadır.
Zhang, Teixeira, Soares, Yan ve Liu (2016)	Risk Analysis	Maritime Transportation Risk Assessment of Tianjin Port with Bayesian Belief Networks	Tanjin limanındaki 2008-2013 yılları arasındaki kaza verileri kullanılarak, kazaların sonuçlarının analizi için bayes ağ modeli oluşturulmaktadır.
Afenyo, Khan, Veitch ve Yang (2017)	Ocean Engineering	Arctic shipping accident scenario analysis using Bayesian Network approach	Arktik bölgesindeki gemilerin buz dağları ile çatışma risk senaryosunun analizi bayes ağ yöntemi kullanılarak yapılmıştır.
Likun ve Zaili (2018)	Reliability Engineering and System Safety	Bayesian network modelling and analysis of accident severity in waterborne transportation: A case study in China	Deniz kazalarının taşımacılık üzerindeki etkilerinin bayes ağları kullanılarak risk değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır. Çin denizlerinde 1979-2015 yılları arasında meydana gelen kaza verilerinden faydalanılmıştır.
Abaei, Abbassi, Garaniya, Chai ve Khan (2018)	Applied Ocean Research	Reliability assessment of marine floating structures using Bayesian network	Petrol ve gaz endüstrisinde kullanılan açık deniz platformları için bağlama sistemlerinin güvenilirlik analizi bayes ağ yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 2.5 devamı

Arzaghi, Abaei, Garaniya, Chai ve Khan (2018)	Process Safety and Environmental Protection	A hierarchical Bayesian approach to modelling fate and transport of oil released from subsea pipelines	Arktik bölgesindeki zengin petrol ve gaz rezervlerinin işlenmeye başlamasıyla birlikte gemi operasyonları sırasında yaşanabilecek kazaların olasılıklarının değerlendirilmesi üzerine bayes ağ metodu kullanılmış bir çalışmadır.
Zhang, Thai, Yuen, Loh ve Zhou (2018)	Safety Science	Addressing the epistemic uncertainty in maritime accidents modelling using Bayesian network with interval probabilities	Deniz kazaları risk analizlerinin uzman görüşleri alınarak bayes ağları ile modelleme yapılması üzerine yapılmış bir çalışmadır.
Baksh, Abbassi, Garaniya ve Khan (2018)	Ocean Engineering	Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters	Kış şartlarının hüküm sürdüğü Arktik bölgesinde gemi seyir yolu olan Kuzey Deniz Rotası (<i>Northern Sea Route-NSR</i>) yaşanabilecek çatışma ve karaya oturma gibi gemi kazalarının olasılıkları üzerine bayes ağ yöntemi kullanılarak yapılmış bir çalışmadır. Eldeki mevcut veriler ve uzman görüşlerinden faydalanılmış ve çalışmanın sonunda duyarlılık analizi de yapılmıştır.
Antão ve Soares (2019)	Accident Analysis and Prevention	Analysis of the influence of human errors on the occurrence of coastal ship accidents in different wave conditions using Bayesian Belief Networks	Farklı hava koşullarında yaşanmış gemi kazalarında, değişen hava koşullarına göre insan faktörünün etkisi üzerine bayes ağları kullanılarak yapılmış modellemedir. Veri seti olarak Portekiz Denizcilik İdaresinin 1997-2006 seneleri arasında yaşanmış gemi kazalarına ilişkin verileri kullanılmıştır.

Tablo 2.5 devamı

Jiang, Lu, Yang ve Li (2020)	Maritime Policy & Management	Risk analysis of maritime accidents along the main route of the Maritime Silk Road: a Bayesian network approach	Deniz ipek yolu olarak adlandırılan Çin mallarının ihraç edildiği deniz yolları üzerinde yaşanabilecek deniz kazalarının analizi bayes ağ yönteminde mevcut kaza verileri incelenerek yapılmıştır.
Jiang ve Lu (2020)	Maritime Policy & Management	Maritime accident risk estimation for sea lanes based on a dynamic Bayesian network	Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından yayınlanmış kaza verileri ve uzman görüşlerinden yararlanılarak, deniz kazaları üzerine risk değerlendirmesi bayes ağ metodu ile yapılmıştır.

2.3 Hata Ağacı ve Bayes Ağları

2.3.1 Hata Ağacından Bayes Ağına Geçiş Modeli

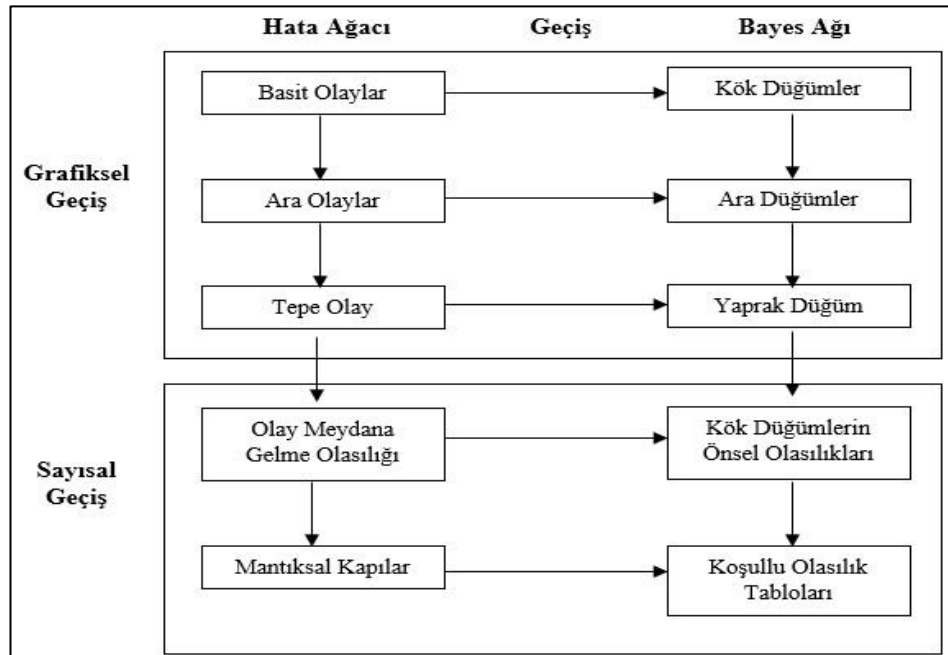
Hata ağacı oluşturulduktan sonra geçiş algoritması (mapping algorithm) kullanılarak hata ağacı diyagramlarından bayes ağlarına geçiş yapılabilmektedir. Geçiş algoritmasında hata ağacında yer alan olaylar bayes ağlarında düğümlere dönüştürülürler. Bayes ağlarındaki koşullu olasılıklar ise hata ağacı yapısındaki mantıksal kapılar yoluyla oluşturulurlar (Bobbio, Portinale, Minichino ve Ciancamerla, 2001).

Hata ağacı diyagramından bayes ağlarına geçiş yapılırken öncelikle hata ağacı, bayes ağlarının yapısını ve parametrelerini oluşturmak için kullanılır. Daha sonra hata ağacında bulunan alan bilgisini arttıran gözlem listelerindeki gözlem düğümleri, bayes ağlarına eklenirler. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken noktalardan birincisi; bayes ağlarındaki yaprak düğümleri birbirinden bağımsızdır ve her yaprak düğüm ağ yapısında yalnızca bir kez görülür. İkinci nokta ise; aynı bileşenin özel hata durumlarını temsil eden iki farklı düğüm bir geçit düğümü ile bağlanırlar. Örneğin; bir valfin durumu belirtilirken için açık veya kapalı olması durumu gibi. Hata ağacı diyagramlarından bayes ağlarına geçiş yapılırken

izlenmesi gereken yolları Atehnjia ve diğerleri şu şekilde sıralamıştır (Atehnjia, Zaili ve Wang, 2018):

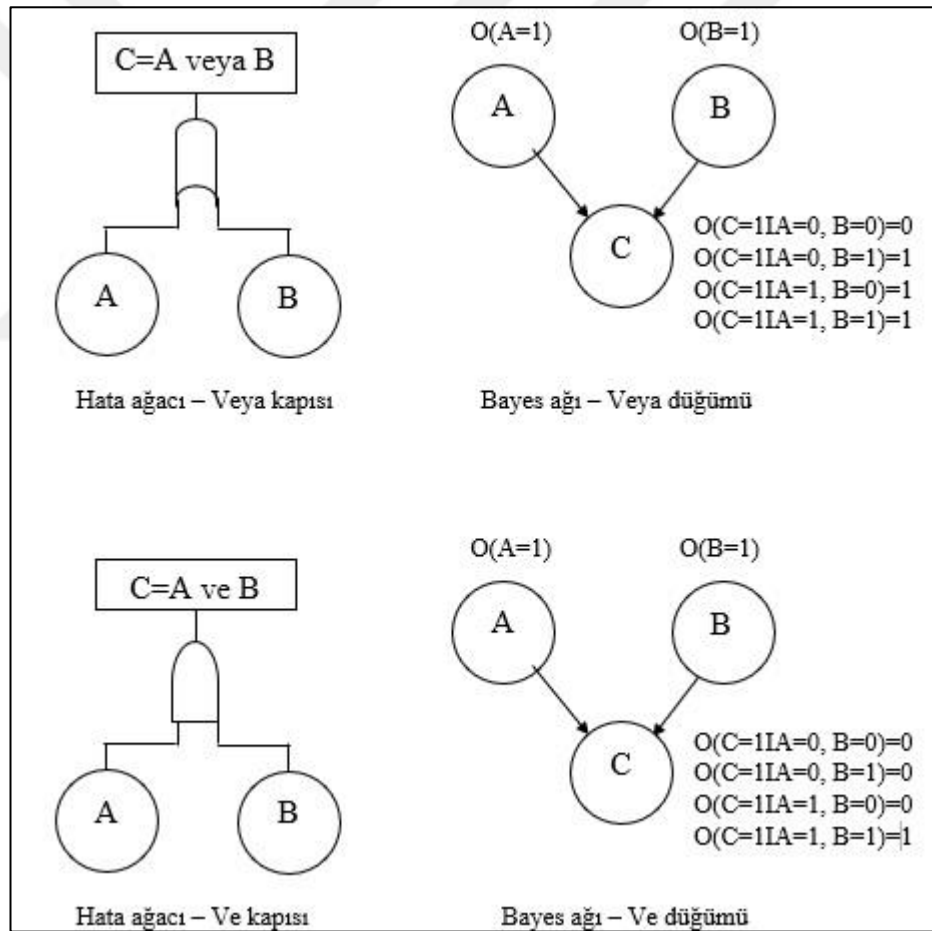
- Hata ağacında yer alan her bir olay için bayes ağ yapısında karşılık gelen bir düğüm oluşturunuz.
- Hata ağacındaki olayların tanımlarını kullanarak bayes ağ yapısındaki düğümleri isimlendiriniz.
- Bayes ağ yapısındaki her bir düğüme başarısızlık ya da başarı gibi karşılık gelen farklı durumları atayın.
- Bayes ağ yapısındaki düğümleri birbirlerine, hata ağacı yapısında olduğu şekilde bağlayın.
- Bayes ağ yapısında düğümlerin önsel olasılıkları olarak, hata ağacı yapısında karşılık gelen olayların olasılıklarını giriniz.
- Bayes ağ yapısındaki koşullu olasılık değerleri hata ağacındaki mantıksal kapılardan geçiş yapılarak oluşturulur.

Hata ağacı diyagramından bayes ağına geçiş algoritması Şekil 2.15’de gösterildiği şekilde grafiksel geçiş ve sayısal geçiş olmak üzere iki bölüme ayrılmış şekilde özetlenebilir (Atehnjia ve diğer., 2018):



Şekil 2.15 Hata ağacından bayes ağına geçiş algoritması (Atehnjia ve diğer., 2018)

Şekil 2.16’da hata ağacı yapısında “ve” mantıksal kapısı ve “veya” mantıksal kapısı ile oluşturulmuş olan iki bağlantının bayes ağlarında alacağı eşdeğer düğüm gösterimi bulunmaktadır. Bayes ağ yapısındaki “A” ve “B” ebeveyn düğümlerinin önsel olasılık değerleri, hata ağacındaki “A” ve “B” basit olaylarına karşılık gelen olasılık değerleri girilerek tanımlanır. Ebeveyn düğümlerin önsel olasılıklarından yola çıkılarak “C” çocuk düğümünün koşullu olasılık tabloları oluşturulur. Hata ağacındaki “ve” ve “veya” mantıksal kapıları deterministik nedensel ilişkileri temsil ederken, bayes ağlarında karşılık gelen koşullu olasılık tablosunun tüm girişleri “1” veya “0” dır (Bobbio ve diğer., 2001). Şekil 2.16’daki bayes ağ yapısında “O” harfi olasılık değerini belirtmektedir.



Şekil 2.16 Hata ağacında "ve", "veya" kapıları ve bayes ağlarında gösterimi (Atehnjia ve diğer., 2018)

2.3.2 Hata Ağacı ve Bayes Ağlarının Birlikte Uygulanması

Hata ağacı analizleri, hata sebeplerini ortaya koyabilmek ve olaylar arasındaki ilişkileri ele almak için verimli bir yöntem sunabilir. Ancak hata ağacı kanıtları bayes ağlarında olduğu gibi muhakemeye dahil etmez. Hata ağacı analizi ve bayes ağlarının bu dezavantajlarının üstesinden gelebilmek için bu iki analiz sistemini birlikte kullanma düşüncesi benimsenmiştir (Yanfu ve Min, 2012).

Dinamik emniyet analizlerinin yapılabilmesinde, kaza senaryo analizlerinin olasılık güncellemeleri ile yapılabilmesi önemlidir. Hata ağacı analizi gibi konvansiyonel teknikler emniyet analizleri için kullanılıyor olsalar bile, statik yapıları ve belirsiz durumları ele almadaki ciddi sınırlılıkları nedeniyle tek başlarına kullanıldıklarında yetersiz kalabilmektedirler. Bu noktada bayes ağları ise geniş potansiyeli sayesinde alternatif bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bayes ağları birçok yönden hata ağacı analizleri ile benzer özellikleri taşısa da, olaylar arasındaki ilişkiyi daha iyi göstermesi, olasılık güncellemesi yapabilmesi ve belirsizlikler ile başa çıkabilmesi gibi önemli avantajlara sahiptir. Hata ağacı analizlerinin bu kısıtlama ve sınırlılıklarının üstesinden gelebilmek için Khakzad ve diğerleri tarafından hata ağacı analizlerinden bayes ağlarına direk geçiş yapılması ve iki analiz sisteminin birlikte kullanılması için prosedür önerilmiştir (Khakzad, Khan ve Amyotte, 2013).

Hata ağacı analizleri sezgisel, açık düşünce ve güçlü mantık gibi özellikleri sayesinde yaygın kullanılan risk değerlendirme tekniklerinden birisidir. Hata ağacı analizleri sayesinde tepe olaya sebebiyet veren her bir faktörün olasılıklarını hesaplayabiliriz. Fakat bu hesapladığımız olasılık değerleri önsel olasılık değerleridir. Etkileşim derecesinin daha iyi bir şekilde ortaya koyulabilmesi için her bir neden faktörünün sonsal olasılıklarının da hesaplanması gerekmektedir. Sonsal olasılıkların hesaplanabilmesi için de hata ağacı diagramlarından bayes ağlarına geçiş yapılmakta ve hata ağacı analizleri ile bayes ağları birlikte kullanılmaktadır (Yuan, Cui, Tao ve Ma, 2018).

Hata ağacı analizi gibi geleneksel risk değerlendirme tekniklerinin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar ağ yapısının statik olması, yetersiz veri ve güvenilir bir ön bilgiye ihtiyaç duyma gibi sıralanabilir. Bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için bayes ağ sistemi hata ağacı ile birlikte kullanılmaktadır. Bayes ağları sayesinde nicel analizde hem ileri hem de geri inceleme ve model parametreleri arasındaki karşılıklı bağımlılığın iyileştirilmesi sağlanmış olur (Yu, Khan ve Veitch, 2017).

Sadece hata ağacı analizi kullanılarak yapılan sistem analizleri, sistemin dinamik yapısını dikkate almadığı ve olaylar arasındaki istatistiksel bağımlılıkları açıkça modellemediği için yeterli görülmemektedir. Hata ağacı analizleri olayların sabit olarak değerlendirildiği arıza olasılıklarına göre yapılmakta, yorgunluk ve yaşlanma ile değişiklik gösterebilecek zaman bağımlı değişkenlerin yeni durumlarını dikkate almamaktadır. Bu sınırlılıkların üstesinden gelebilmek için hata ağacı analizlerinden bayes ağlarına geçiş yapılmaktadır. Bu geçiş işleminde hata ağacı analizindeki kök nedenler ve önsel olasılıkları korunmakta ve bayes ağ yapısına aktarılmaktadır. Böylece hem sabit hem de zaman içerisinde değişiklik göstererek arıza oranları, değişen olaylar aynı anda dikkate alınmış olmaktadır (Kabir, Taleb-Berrouane ve Papadopoulos, 2019).

Dinamik emniyet sistemlerinin analizinde hata ağacı analizleri doğası gereği sınırlıdır. Bu nedenle hata ağacı analizlerinde olayların olasılığını ve buna bağlı riskleri güncellemek için kaza sonuçlarını hesaba katmak zordur. Ayrıca hata ağacı analizi koşullu bağımlılığı gösteremez. Bu sebeple bayes ağları bu sınırlamaların üstesinden gelmeye yardımcı olur. Bayes ağlarının esnek yapıları sayesinde çok çeşitli kaza senaryolarının dinamik emniyet analizlerinde kullanılabilecekleri görülmüştür (Khakzad ve diğer., 2013).

Hata ağacı analizleri, kök nedenleri temsil etmek ve aralarındaki ilişkilerde bulanık bilgileri ele almak için verimli bir yöntem sunabilir. Ancak hata ağacı analizleri kanıtları bayes ağlarındaki akıl yürütme içerisine dahil edemez. Bu dezavantajın

üstesinden gelebilmek için hata ağacı analizleri, bayes ağları ile birlikte kullanılabilir (Yanfu ve Min, 2012).

Bayes ağlarının belirsiz durumlar ile başa çıkmada bir avantajı vardır. Ancak pratik uygulamada bilimsel ve rasyonel bir bayes ağı modeli oluşturmak zordur. Bu sorunu çözmek için hata ağacı analizi ile entegre ederek bayes ağları inşa edilmektedir (Ma, Zhou ve Jiang, 2014).

Hata ağacı analizleri kaza sürecini gösterebilmesine rağmen statik olma dezavantajına sahiptir. Bu nedenle bu model tek başına kazaların dinamiklerine uyum sağlayamaz. Hata ağacının bu sınırlamalarını giderebilmek ve dinamik bir analizin sağlanabilmesi için bayes ağları ile birlikte kullanılabilirler (Meng, Chen, G. Zhu ve Y. Zhu, 2019).

Hata ağacı analizi tepe olay ve basit olayların olasılıklarını tahmin etmek için kullanılan basit bir analiz aracıdır. Ancak analizi yapılan sistemle ilgili olarak yeni bilgiler elde edildiğinde, arıza olasılıklarını güncellemek için hata ağacına entegre edilemezler. Bu sınırlamanın üstesinden gelebilmek adına bayes ağları son yirmi yıldır hata ağacı analizini destekleyecek şekilde kullanılmaktadır. Bayes ağlarının hata ağacına göre avantajı, yeni elde edilen bilgilerin kolaylıkla entegre edilebilerek sonsal olasılıkların hesaplanabiliyor olmasıdır. Bir bayes ağ modeli direk hata ağacı modeli üzerinden geçiş yapılarak oluşturulabilmektedir (Yang ve Sørensen, 2020).

Hata ağacı analizi ve bayes ağları birlikte kullanılarak yapılmış çok sayıda risk değerlendirme çalışması bulunmaktadır. 2010-2020 yılları arasını kapsayan dönem için yazın taraması yapılmıştır ve başlıcaları Tablo 2.6’da listelenmiştir.

Tablo 2.6 Hata ağacı analizi ve bayes ağlarının birlikte kullanıldığı çalışmalara ait yazın taraması

Yazar	Dergi Adı	Yayın Adı	Katkı/Çıktı
Yanfu ve Min (2012)	SciVerse Science Direct	Approach to integrate fuzzy fault tree with bayesian network	Açık deniz platformlarında yangın kazasına yönelik hata ağacı analizi ve bayes ağlarının birlikte kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmasını içermektedir.
Khakzad, Khan ve Amyotte (2013)	Reliability Engineering and System Safety	Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches	Gaz işleme sistemlerinin risk analizlerinin yapılmasında konvansiyonel teknik olan hata ağacı analizinin, bayes ağları ile birlikte entegre şekilde kullanılarak dinamik bir risk değerlendirmesinin nasıl yapılacağı üzerine bir çalışmadır.
Ma, Zhou, Jiang (2014)	IEEE Computer Society	Constructing Bayesian Network by Integrating FMEA with FTA	Belirsiz durumların risk değerlendirmeleri ile başa çıkabilmek için Bayes ağlarının hata ağacı analizleri ile entegre edilme süreci üzerine bir makaledir.
Chen, Mou ve Li (2015)	Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin	Risk analysis of maritime accidents in an estuary: a case study of Shenzhen Waters	Shenzhen Deniz Emniyeti İdaresi'nin 2003-2012 yılları arasında nehir ağzındaki sularda yaşanan deniz kazaları istatistiklerinden faydalanarak hata ağacı ve bayes ağları entegre şekilde kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır.
Li, Chen ve Zhu (2016)	Process Safety and Environmental Protection	Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network	Su altı boru hatlarında yaşanabilecek kaçaklar ve sonucunda meydana gelebilecek kazalar üzerine, hata ağacı ve olay ağacı birleştirilerek bow-tie metodu ve sonrasında bayes ağlarına geçiş yapılarak risk değerlendirmesi yapılmaya çalışılmıştır.

Tablo 2.6 devamı

Shan, Liu ve Sun (2017)	Hindawi Scientific Programming	Risk Analysis on Leakage Failure of Natural Gas Pipelines by Fuzzy Bayesian Network with a Bow-Tie Model	Deniz altındaki doğal gaz borularında meydana gelebilecek sızıntılar kaynaklı yangın, patlama gibi istenmeyen olayların sebep olacağı felaketlerin önlenmesi adına risk değerlendirmesi; hata ağacı yöntemini olay ağacı ile birleştirerek yani bow tie yöntemi ile birlikte bayes ağları kullanılarak yapılmıştır.
Yazdi ve Kabir (2017)	Process Safety and Environmental Protection	A fuzzy Bayesian network approach for risk analysis in process industries	Hata ağacı analizi risk değerlendirme tekniklerinden birisi olmasına rağmen, belirsiz verilerin bulunduğu durumlar ve arızaya yol açan olayların arasındaki istatistiksel bağımlılığı dikkat alma gibi konularda sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu sınırlılıkların üstesinden gelebilmek için risk değerlendirmelerinde hata ağacı analizlerinin bayes ağları ile birlikte kullanılmasına ilişkin bir çalışmadır.
Medkour, Khochmane, Bouzaouit ve Bennis (2017)	Mechanics	Transformation of Fault Trees into Bayesian Networks Methodology for Fault Diagnosis	Mekanik sistemlerin risk analizlerinde hata ağacı ve bayes ağlarının birlikte kullanımı üzerine hazırlanmış bir makaledir.
Yu, Khan ve Veitch (2017)	Risk Analysis	A Flexible Hierarchical Bayesian Modeling Technique for Risk Analysis of Major Accidents	Risk değerlendirmesinde hata ağacı analizi gibi konvansiyonel tekniklerin sınırlılıklarının üstesinden gelebilmek için yeni bir teknik olarak bayes ağları ile entegre bir şekilde kullanımı üzerine yazılmış bir makaledir.

Tablo 2.6 devamı

Yuan, Cui, Tao ve Ma (2018)	Energy & Environment	Cause factors in emergency process of fire accident for oil-gas storage and transportation based on fault tree analysis and modified Bayesian network model	Petrol ve gaz depolama tesislerinde yangın kazasının risk değerlendirmesi hata ağacı analizi ve bayes ağları kullanılarak yapılmıştır.
Li, Chen, Jiang, He, Xu, Zhu (2018)	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	Developing a dynamic model for risk analysis under uncertainty: Case of third-party damage on subsea pipelines	Su altı boruları üzerinde üçüncül partiler tarafından verilen hasarlar ile ilgili olarak risk değerlendirmesi hata ağacı ve bayes ağlarının bulanık küme teorisi ile birlikte kullanılarak yapılmıştır.
Chang, Chen, Wu, Ye, Chen, Xu (2018)	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	Failure probability analysis for emergency disconnect of deepwater drilling riser using Bayesian network	Sondaj kuyularında sondaj gemilerinden bağlanmış olan devrelerin acil bir kaçak durumunda otomatik ayrılması ve kapatılması sistemlerinin, arıza olasılık analizinin hata ağacı, olay ağacı ve bayes ağları kullanılarak yapıldığı çalışmadır.
Atehnjia, Zaili ve Wang (2018)	International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering	Application of Fault Tree - Bayesian Network for Graving Dock Gate Failure Analysis	<i>Graving Dock Gate</i> tipindeki spesifik bir tersane kuru havuzu için maruz kalınan çevresel koşullar ve paslanma gibi faktörler üzerine risk analizi hata ağacı analizi yönteminden bayes ağlarına geçiş yapılarak incelenmiştir.
Ibrahim ve Rao (2019)	Journal of Engineering Science and Technology	Fire Risk Analysis in FLNG Processing Facility Using Bayesian Network	Bu makale de hata ağacı ve bayes ağları ile birlikte bir model oluşturularak FLNG gemilerinde yangın tehlikesine karşı risk analizi yapılmıştır. Hata ağacı kullanılarak sıvı doğal gaz yangınına yol açan kök nedenler ortaya konulmuş ve daha sonra dinamik analizi bayes ağları kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 2.6 devamı

Vairo, Milazzo, Bragatto, Fabiano (2019)	Chemical Engineering Transactions	A Dynamic Approach to Fault Tree Analysis based on Bayesian Beliefs Networks	Bu çalışma da kıyasal bir petrokimya depolama tesisinde dinamik risk analizini yapabilmek için hata ağacı analizi ve bayes ağları birlikte kullanılmıştır.
Zhao, Yan, Wang, Yan (2019)	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	A risk analysis model for underground gas storage well integrity failure	Yeraltı gaz depolarının sağlamlığı üzerine risk değerlendirmesi hata ağacı ve olay ağacı kombinasyonu ve bayes ağları birlikte kullanılarak yapılmaya çalışılmıştır.
Meng, Chen, G.Zhu ve Y.Zhu (2019)	International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering	Dynamic quantitative risk assessment of accidents induced by leakage on offshore platforms using DEMATEL-BN	Açık deniz platformlarında yaşanan sistemdeki sızıntılar, yangın ve patlama gibi istenmeyen olayların birincil sebebidir. Bu kazaların önlenmesi için risk değerlendirmesi dinamik nicel risk değerlendirmesi hata ağacı ve bayes ağları birlikte kullanılarak yapılmıştır.
Kabir, Taleb-Berrouane, Papadopoulos (2019)	Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects	Dynamic reliability assessment of flare systems by combining fault tree analysis and Bayesian networks	Petrol ve gaz endüstrisinde atık parlayıcı gazların imha edilmesi işlemi olan yakma olayı için risk değerlendirmesi hata ağacı analizi ve bayes ağları kullanılarak yapılmıştır.
Ren, Zeng, Wang, Pang ve Wang (2020)	IEEE	Fault Diagnosis of Diesel Engine Lubrication System Based on Bayesian Network	Dizel makinelerin yağlama sistemleri arıza analizi öncelik hata ağacı analizi oluşturularak daha sonrasında bayes ağlarına geçiş yapılarak yapılmıştır.
Yang ve Sørensen (2020)	Energies	Probabilistic Availability Analysis for Marine Energy Transfer Subsystem Using Bayesian Network	Deniz enerjisi dönüşüm alt sistemlerinde, enerji transfer ağlarının kullanılabilirlik olasılıklarının tahmini için nitel olarak hata ağacı oluşturulduktan sonra bayes ağ yapısına geçilerek analiz yapılmıştır.

2.4 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi, üyelik derecelerinin sürekliliği olan bir nesne set sınıfıdır ve her bir nesneye 0 ile 1 arasında değişen bir üyelik derecesi atayan bir üyelik işlevi ile ifade edilirler (Zadeh, 1965).

Bulanık küme teorisi ilk olarak 1965 senesinde L.A.Zahed tarafından, olasılık teorileri kullanılarak, düzgün bir şekilde ifade edilemeyen belirsizlikleri tanımlayabilmek için ortaya konulmuştur (Li ve diğer., 2018).

Teknolojik gelişmelerle birlikte bulanık mantık, son senelerde birçok problemin çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi haline gelmiştir. Bulanık mantık kullanılarak kesin olarak tanımlanamayan birçok olayın çözümü mümkün hale gelmiştir. Uygulama alanlarının geniş olması ve problem çözümlerinde başarılı sonuçların elde edilebiliyor olması da bulanık mantık yöntemine olan ilgiyi arttırmıştır (Kaftan, Balkan ve Şalk, 2013).

Zahed tarafından kesin olmayan, belirsiz veya kısmen doğru olan bilgiler ile başa çıkmak için ortaya konulmuş olan bulanık küme teorisinde, bir kümedeki bir elemanın üyeliği ikili olarak kabul edilir, yani eleman bir kümeye aittir veya bir kümeye ait değildir. Bununla birlikte bulanık küme teorisi, bir kümenin bir elemanının $[0, 1]$ aralığından bir üyelik değerine sahip olmasını mümkün kılar. Varsayalım ki X nesne evreninin bir koleksiyonu olsun ve öğeleri x ile temsil edilsin. Bulanık bir küme olan A kümesinin X üyelik fonksiyonu ile gösterimi $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ ile karakterize edilebilir. $\mu_A(x)$ fonksiyonunun değeri, x in A kümesindeki üyelik derecesini temsil eder. Üyelik değeri 1 ise x elemanın tamamen A küme seti içerisinde olduğu ve üyelik değeri 0 ise x elemanın tamamen A küme seti içerisinde olmadığı anlamına gelmektedir. Öte yandan 0 ile 1 arasındaki değerler kısmi üyeliği temsil eder, burada değer ne kadar yüksekse üyelik dereceside o kadar güçlü kabul edilmektedir (Kabir ve Papadopoulos, 2018).

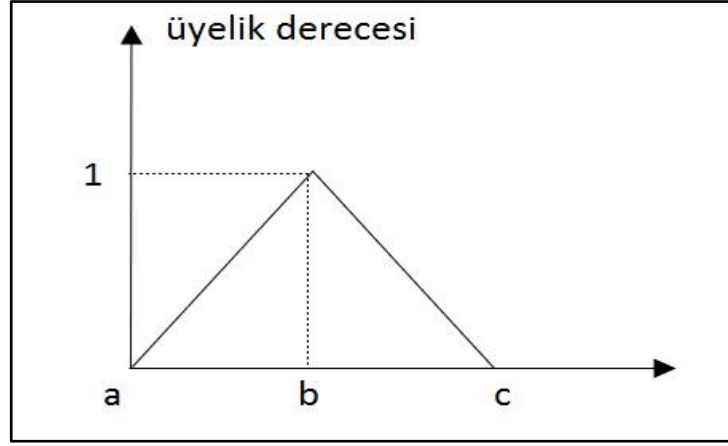
2.4.1 Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonlarının farklı şekillerde gösterilebilmesi bulanık küme teorisinin kullarımdaki esnekliğini göstermektedir. Küme üyelerinin karşılık gelen değeriyle birlikte gösterildiğı eğri üyelik fonksiyonudur. Üyelik fonksiyonu eğrisinde üzerinde x ekseni üyeleri, y ekseni ise üyelik derecelerini göstermektedir. Farklı üyelik fonksiyonaları içerisinde en basit üyelik fonksiyonu üçgen üyelik fonksiyonudur. Yamuk, çan eğrisi, sigmoidal ve gaussian üyelik fonksiyonları yaygın olarak kullanılan diğer üyelik fonksiyonlarıdır. Üyelik fonksiyonlarının tek koşulu [0, 1] arasında değeri alma mecburiyetidir (Kaftan ve diğer., 2013).

Küme içerisindeki bulanık bir sayı, elimizdeki sorunun doğasına bağlı olarak farklı şekillerde tanımlanabilir. Üyelik fonksiyonlarının farklı şekilleri arasında üçgen ve yamuk şekiller, bulanık hata oranlarını veya sistem bileşenlerinin olasılıklarını temsil etmek için en yaygın olarak kullanılan fonksiyonlardır (Kabir ve Papadopoulos, 2018).

Üçgen üyelik fonksiyonu a, b, c olmak üzere üç parametre ile tanımlanır ve denklemleri ile grafiksel gösterimi Şekil 2.17'daki gibi ifade edilir (Kaftan ve diğer., 2013):

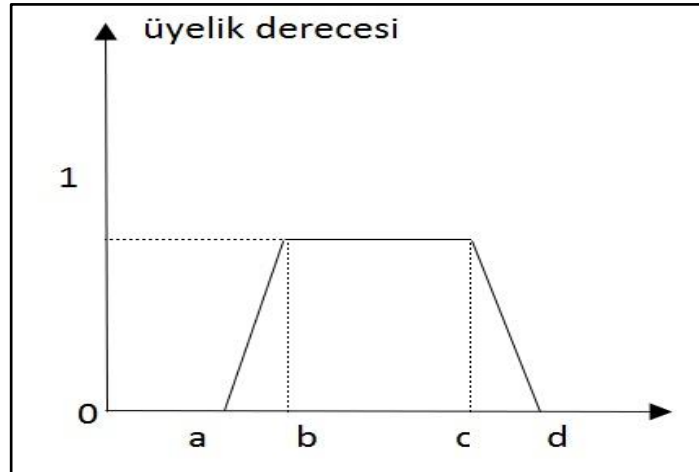
$$\mu_A(x) = \mu_A(x:a,b,c) = \begin{cases} (x-a) / (b-a), & a \leq x < b \\ (c-x) / (c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2.11)$$



Şekil 2.17 Üçgen üyelik fonksiyonu (Kaftan ve diğer., 2013)

Yamuk üyelik fonksiyonu a, b, c, d olmak üzere dört parametre ile tanımlanır ve denklemi ile grafiksel gösterimi Şekil 2.18'daki gibi ifade edilir (Kaftan ve diğer., 2013):

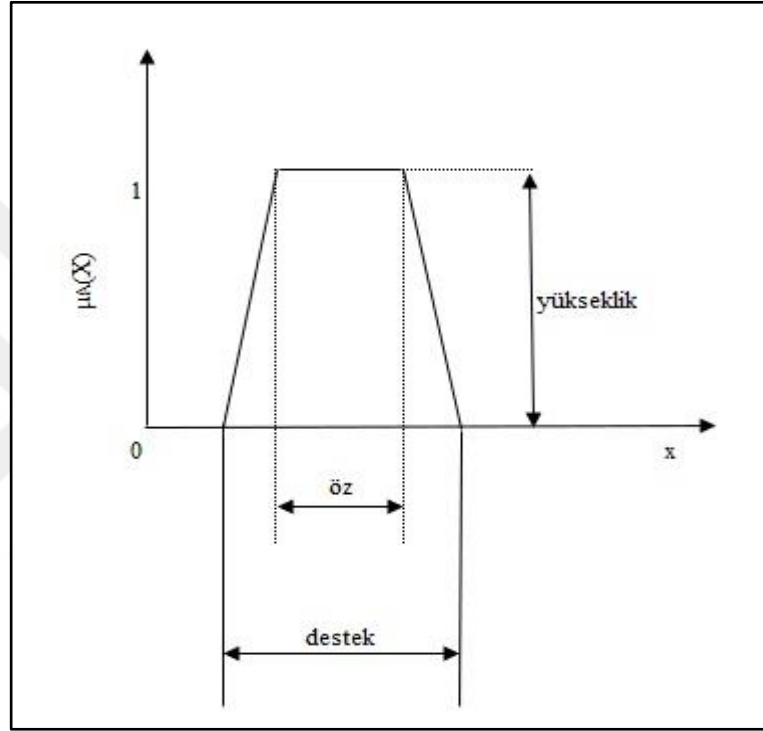
$$\mu_A(x) = \mu_A(x;a,b,c,d) = \begin{cases} (x-a) / (b-a), & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ (d-x) / (d-c), & c \leq x < d \\ 0, & x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2.12)$$



Şekil 2.18 Yamuk üyelik fonksiyonu (Kaftan ve diğer., 2013)

Üyelik fonksiyonlarının Şekil 2.19’de görüldüğü üzere öz, destek, sınır ve yükseklik gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır (Jager, 1995).

$$\begin{aligned} \text{Öz;} \quad & \mu_A(X) = 1 \\ \text{Destek;} \quad & \mu_A(X) > 0 \\ \text{Sınır;} \quad & 0 < \mu_A(X) < 1 \end{aligned} \quad (2.13)$$



Şekil 2.19 Üyelik fonksiyonu (Jager, 1995)

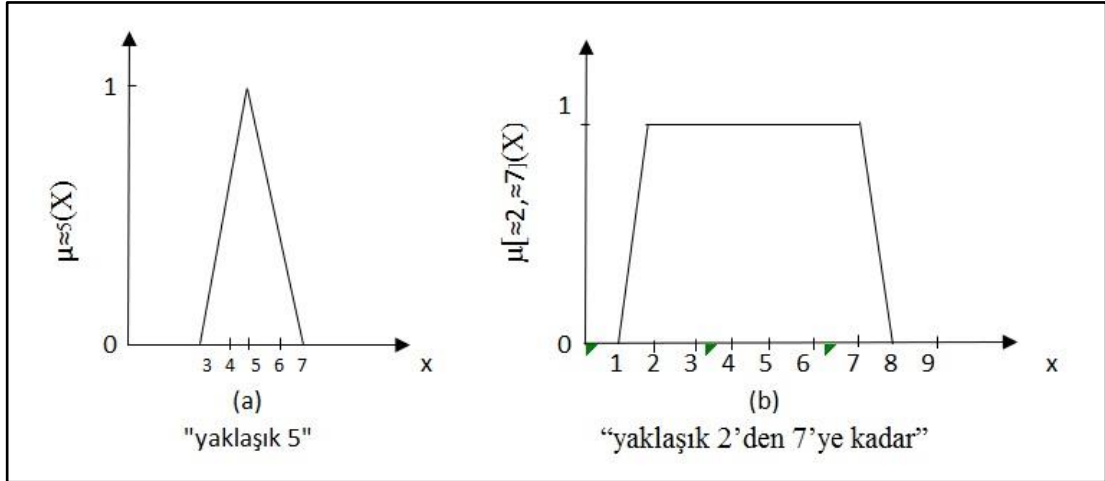
2.4.2 Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, kesin olmayan sayısal büyüklükleri pratik bir şekilde ele almak için Zadeh tarafından ortaya konulmuştur (Dijkman, Haeringen ve Lange, 1983).

Günlük yaşamda her birimiz gerçek bir sayıyı belirsiz ama pratik bir şekilde belirtmek için genellikle "yaklaşık üç" gibi ifadeler kullanırız. Bazı durumlarda bu kullanılan ifadeler yanlış anlaşılmalara yol açabilir. Çünkü hepimiz "yaklaşık üç" ifadesine farklı anlamlar yükleyebiliriz. Açık ki, bu tür belirsiz kavramları daha kesin ve işlevsel hale getirmek çok değerli olacaktır. Bu amaçla, belirsiz kavramların

sezgisel anlamını herkes için tatmin edici bir şekilde yansıtan iyi tanımlanmış matematiksel kavramlar tanıtılmıştır (Dijkman ve diğer., 1983).

Bulanık sayılar özel bir tür bulanık kümedirler. Dolayısıyla bir bulanık sayı her zaman bulanık bir kümedir, ancak bir bulanık küme her zaman bulanık bir sayı değildir. Aşağıdaki Şekil 2.20(a)'da "yaklaşık 5" bulanık sayısının üyelik fonksiyonunun örneği gösterilmektedir. Görüldüğü üzere "yaklaşık 5" sayısının sınırları 3 ve 7 sayıları arasında verilmiştir. Toplama ve çıkartma gibi matematiksel işlemler yapılarak bu yaklaşık verilen bulanık sayının sınırları da değiştirilebilmektedir. Verilen grafikte 3 ve 7 bulanık sayılarının üyelik dereceleri 0'dır. 5 bulanık sayısının ise üyelik derecesi 1'dir. Bunun yanında 4 ve 6 sayılarının "yaklaşık 5" bulanık sayısına ait olma dereceleri 0,5 civarındadır. Bulanık sayılara ek olarak bir de bulanık aralık kavramı bulunmaktadır. Bulanık aralık, bulanık bir kümenin bir elamanının değeri kesin olmayan fakat sınırlandırılmış bir şekilde bulanık aralığının iki uç noktası olarak gösterimi şeklinde tanımlanır. Bulanık aralığın bulanık sayıdan farkı ise üyelik fonksiyonunun özünün tek bir nokta ile sınırlandırılmamış olmasıdır. Şekil 2.20(b)'de bulanık aralık durumu gösterilmektedir (Jager, 1995).



Şekil 2.20 Bulanık sayı (a) ve bulanık aralığın (b) gösterimi (Jager, 1995)

Üyelik derecelerine göre bulanık sayılar küme şeklinde gösterilebilirler. Ancak bulanık sayılar kümesinin her zaman dar olmadığı durumlarda küme şeklinde gösterim yerine bulanık sayıların fonksiyonlar ile gösterimi gerekebilir. Farklı bulanık sayı

çeşitleri arasında üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar en sık kullanılanlarıdır. Bu sayılar adlandırmalarını üyelik fonksiyonlarının şekillerinden almaktadırlar ve olasılıksal matematiksel programlama problemlerinde kullanışlıdır. Üçgensel bulanık sayılar (a_1, a_2, a_3) gibi üç tane gerçek sayı ile gösterilirler. Bu parametreler sırasıyla en küçük değeri, alınabilecek en büyük değeri ve en geniş değeri temsil etmektedirler. Yamuk bulanık sayılar ise (a_1, a_2, a_3, a_4) gibi dördü gerçek sayılar ile gösterilirler. $[a_2, a_3]$ aralığı büyüklüğün kesinlikle gösterilebildiği sayıları ifade ederken; a_1 ve a_4 parametreleri sırasıyla alt ve üst sınırları temsil etmektedirler (Kılınç, 2008).

Bu araştırma çalışmasında da yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır.

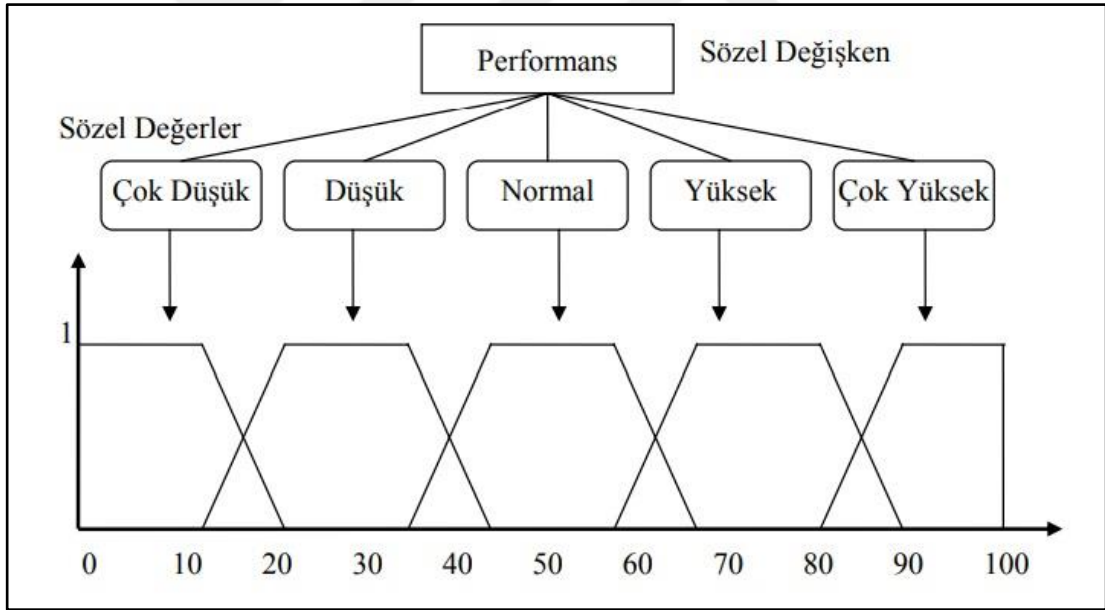
2.4.3 Sözel Değişkenler (Dilsel İfadeler)

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları için kullanılan sözel değişkenler yani dilsel ifadeler kavramı ilk olarak Zadeh tarafından 1973 yılındaki çalışmasında ortaya atılmıştır. Değişkenlerin sözel olarak sayısal değerlerin yerine yazılmasına dilsel değişkenler denilmektedir. Dilsel değişkenler bulanık mantığın en önemli yapı taşlarından biridir. Dilsel değişkenler hem değeri bulanık bir sayı hem de değerleri dilsel terimlerle tanımlanan değişkenlerdir. Bir problemin bulanık mantık ile modellenmesinde girdi ve çıktı değişkenleri rol oynar. Her bir girdi ve çıktı değişkeni için farklı üyelik fonksiyonları oluşturulur. Bu değişkenlerin üyelik fonksiyonları “az, orta, çok, düşük, yüksek” gibi dilsel değişkenlerle ifade edilir. Günlük konuşma dilinde daha uzun emsalleri ile aynı anlam taşıyan kısa cümleleri sıklıkla kullanırız (Üney, 2017).

Sözel değişkenlerin kullanılması, belirsiz durumlar karşısında uzmanların düşüncelerini ifade etmelerini kolaylaştırır ve bu dilsel yargıların olasılık değerlerine dönüştürülmesi bayes ağlarının oluşturulmasında hesap ve zaman açısından kolaylık sağlamaktadır (Ren ve diğer., 2007).

Risk değerlendirme sürecindeki veri eksikliği ve belirsizlik, risk analizlerinde önemli bir sorundur. Bu gibi belirsiz durumlarda uzman görüşlerinden faydalanılarak kök nedenlerin hata olasılıkları "çok yüksek", "yüksek" ve "düşük" gibi bir dizi dilsel ifadeler ile elde edilmeye çalışılır. Dilsel ifadelerdeki belirsizliği çözebilmek için bulanık küme teorisi kullanılır ve dilsel ifadeler bulanık sayılara dönüştürülür (Shan, Liu ve Sun, 2017).

Örnek olarak “performans” sözel değişkenini ele alırsak, bu değişken insanlar tarafından farklı değerler ile ölçümlenebilir. Şekil 2.21’de görüldüğü gibi sözel değişkenin değişim aralığını 0 ile 100 puan arasında değerlendirirsek tüm değişken uzayını belirlemiş oluruz. Günlük hayatta “performans” sözel değişkeni kullanılırken, "çok düşük", "düşük", "normal", "yüksek" ve "çok yüksek" gibi farklı sözel değer aralıklarından oluştuğu düşünülür (Kılınç, 2008).



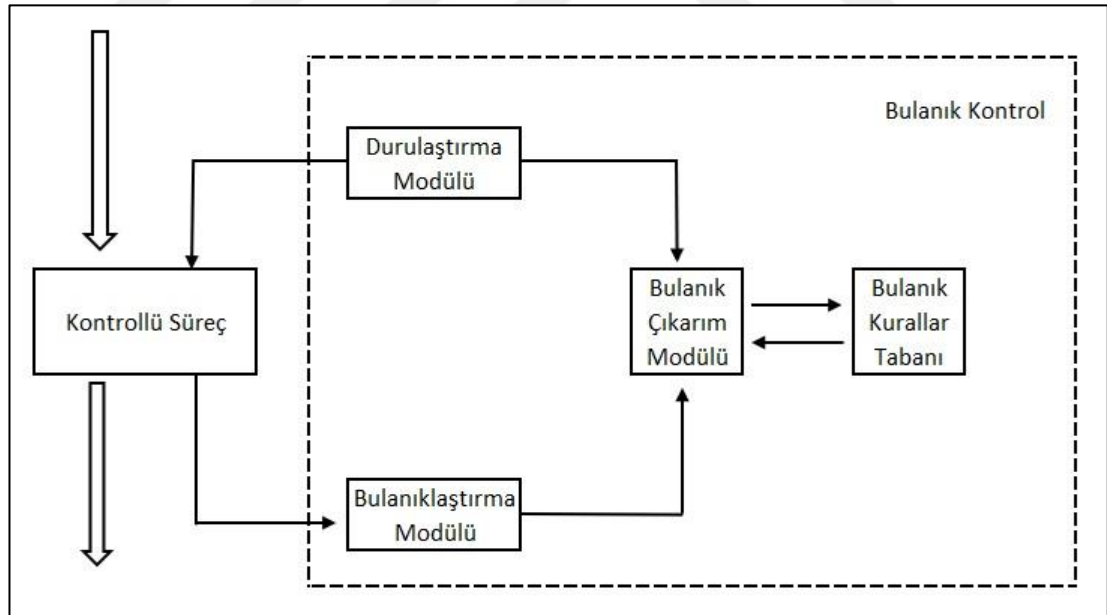
Şekil 2.21 Performans sözel değişkeni ve sözel değerleri (Klir ve Yuan, 1995)

2.4.4 Bulanık Denetim Sistemleri

Genel olarak bulanık denetim sistemleri, özel uzman sistemlerdir. Bu sistemler klasik kontrollerin aksine insanlardan elde edilen bilgileri kullanma özelliğine sahiptirler. Bu özellik sayesinde bulanık denetim sistemleri zor hatta imkansız olan

matematiksel modellerin oluşturulmasında oldukça etkilidir. Kontrol problemlerindeki zorlukların başlıca sebepleri doğal doğrusal olmama durumlarından, kontrol edilecek süreçlerin zamanla değişen doğasından, büyük öngörülemeyen çevresel rahatsızlıklardan, bozucu sensörlerden veya hassas ve güvenilir ölçümler elde etmedeki diğer zorluklardan ve bir dizi başka faktörden kaynaklanabilir. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek adına tecrübeli insan görüşlerine başvurularak çözüme ulaşılabılır. Görüşlerine başvuru alan insanlar kendilerini ifade ederlerken kesin matematiksel terimler yerine, kesin olmayan sözel tanımlamalar kullanmayı tercih ederler (Klir ve Yuan, 1995).

Genel bir bulanık denetim sistemi bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım, bulanıklaştırma ve durulaştırma modülleri olmak üzere dört modülden oluşmaktadır. Bu modüller arasındaki ara bağlantılar ve kontrol süreci Şekil 2.22'de gösterilmektedir. Bulanık bir kontrol sistemi aşağıda verilmiş olan dört adımlık döngüyü tekrarlayarak çalışır (Klir ve Yuan, 1995).

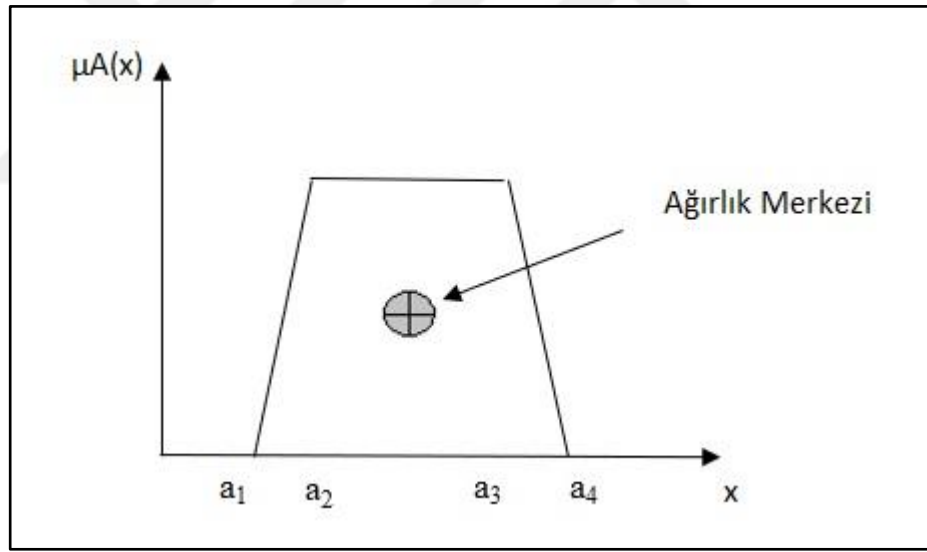


Şekil 2.22 Bulanık kontrol sistemi (Klir ve Yuan, 1995)

İlk olarak denetlenmesi gereken ilgili durumları tanımlayan tüm değişkenlerin ölçümleri alınır. Sonraki aşama olan bulanıklaştırmada bu ölçümler, ölçüm belirsizliklerini ifade etmek için uygun bulanık setlere dönüştürülür. Bulanıklaştırılmış

ölçümler daha sonra bulanık çıkarım modülü tarafından bulanık kurallar tabanında depolanan kontrol kurallarını değerlendirmek için kullanılır. Bu değerlendirmenin sonucu olası eylemler evreninde tanımlanan bulanık bir kümedir (veya birkaç bulanık kümedir). Daha sonra bu bulanık küme döngünün son aşamasında, bir anlamda bulanık kümenin (veya bulanık kümelerin) en iyi temsilcisi olan tek bir net değere veya bir değer vektörüne dönüştürülür. Bu dönüştürme durulaştırma olarak adlandırılmaktadır (Klir ve Yuan, 1995).

Durulaştırma uygulamalarında bulanık sayı değerleri kesin sayı değerlerine çevirilir. Durulaştırma işlemlerinde kullanılan farklı yöntemler bulunmakla beraber, hangi yöntemin seçileceği problemin türüne göre araştırmacının karar verdiği bir durumdur (Kılınç, 2008). Bu çalışma içerisinde Şekil 2.23’de verildiği şekilde tanımlanmış olan ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.23 Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi (Zarei ve diğer.,2019)

Ağırlık merkezi yöntemi durulaştırma işlemlerinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntem tüm sözel çıkış değerlerine tek bir ortalama ağırlık verilerek meydana getirilen şeklin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemle ait matematiksel işlem aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibidir (Kılınç, 2008):

$$Z^* = \int u_c(z).z \, dz / u_c(z) \, dz \quad (2.14)$$

$$Z^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{z-a_1}{a_2-a_1}\right).z \, dz + \int_{a_2}^{a_3} z \, dz + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-z}{a_4-a_3}\right).z \, dz}{\int_{a_1}^{a_2} \left(\frac{z-a_1}{a_2-a_1}\right).dz + \int_{a_2}^{a_3} dz + \int_{a_3}^{a_4} \left(\frac{a_4-z}{a_4-a_3}\right).dz} = \frac{-a_1a_2 + -a_3a_4 + \frac{1}{3}(a_4-a_3)^2 - \frac{1}{3}(a_2-a_1)^2}{-a_1-a_2+a_3+a_4} \quad (2.15)$$

Bu formülde “z” her bir kuraldaki çıkış değerini, $u_c(z)$ çıkarım işlemi sonucundaki üyelik aralığını ve Z^* ifadesi durulaştırma sonuç değerini göstermektedir (Kılınç, 2008).

BÖLÜM ÜÇ

GEMİDEN GEMİYE TANKER TRANSFER OPERASYONLARI RİSK ANALİZİ: OLASILIKSAL YAKLAŞIM

Bu bölümde seyir halinde gerçekleştirilen gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarının risk değerlendirmesi ve çatışma kazasına sebebiyet veren değişkenler arasındaki olasılıksal ilişki analizleri, hata ağacı üzerinden geçiş algoritması kullanılarak bayes ağları ile yapılmıştır. Bu kapsamda; araştırmanın konusu, amacı ve modeli, araştırmada kullanılan nitel ve nicel yöntemler, araştırmanın örnekleme, veri toplama aracı, verilerin elde edilme süreci, analizleri ve sonuçları incelenmiştir.

3.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Deniz taşımacılığında son yıllarda artan kargo transfer hacmi talebine bağlı olarak gemi boyutlarının büyümesi, taşınan yük miktarının artması ve kargo cinsinin çeşitliliği gibi etkenler yeni liman arayışlarına ve aynı zamanda farklı kargo transfer tekniklerine başvurulmasına yol açmıştır. Yeni liman inşaatlarının gerek maliyeti, gerek inşaa süresi ve gerekse her zaman uygun coğrafi özellikte liman bölgelerinin bulunamıyor olması gibi faktörler bir araya geldiği zaman, daha ekonomik olması ve daha kısa sürede kargo transferlerinin tamamlanabiliyor olması gibi avantajları ile birlikte denizde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarına duyulan talepte artış görülmüştür. Deniz üzerinde gerek her iki gemi seyir halinde iken, gerek gemilerden birisinin demirli olduğu veya bir rıhtıma bağlı olduğu şekilde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları son yıllarda ve günümüzde yoğun talep gören operasyonlar haline gelmiştir.

Rutin liman yanaşma manevralarının aksine açık deniz koşullarında her iki geminin de hareketli olması yoluyla yapılan, deniz üzerinde her iki geminin de seyir halinde olduğu gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevraları, doğası gereği bir çok riskleri de içerisinde barındırmaktadır. Taşınan petrol türevi kargoların parlayıcı ve patlayıcı özellikleri ile birlikte operasyonun yapıldığı sahanın karaya olan

mesafesi sebebi ile acil müdahale araçlarına erişimin sınırlı olduğu da gözönünde bulundurulursa, bu operasyonlarda risklerin azaltılabilmesi veya kabul edilebilir dereceye düşürülebiliyor olması yaşanabilecek istenmeyen olayların da önlenabilir olmasını sağlayacaktır. Risklerin azaltılabilmesi ise ancak kazaya sebebiyet veren nedenlerin ortaya çıkarılması, risklerin belirlenmesi ve risk önleyici faktörlerin ortaya konulması, kısaca risk analizinin yapılması ile mümkün olabilecektir.

Gemiden gemiye yapılan tanker transfer operasyonları denizcilik tarihinin eski geçmişine rağmen 1980 lerden sonra ortaya çıkmış ve özellikle denizde taşınan dökme sıvı yük hacminin artış göstermesi ile birlikte 2000’li yıllardan sonra giderek talep gören bir operasyon halini almıştır. Bu yakın geçmiş sebebi ile akademik anlamda yapılmış olan incelemeler ve risk değerlendirmeleri ancak son yıllarda yapılmış olan sayılı çalışmalar ile sınırlıdır.

Yukarıda sıralanmış sebeplerden ötürü, bu akademik çalışmada seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarındaki yanaşma manevralarının risk analizinin yapılması amaçlanmıştır.

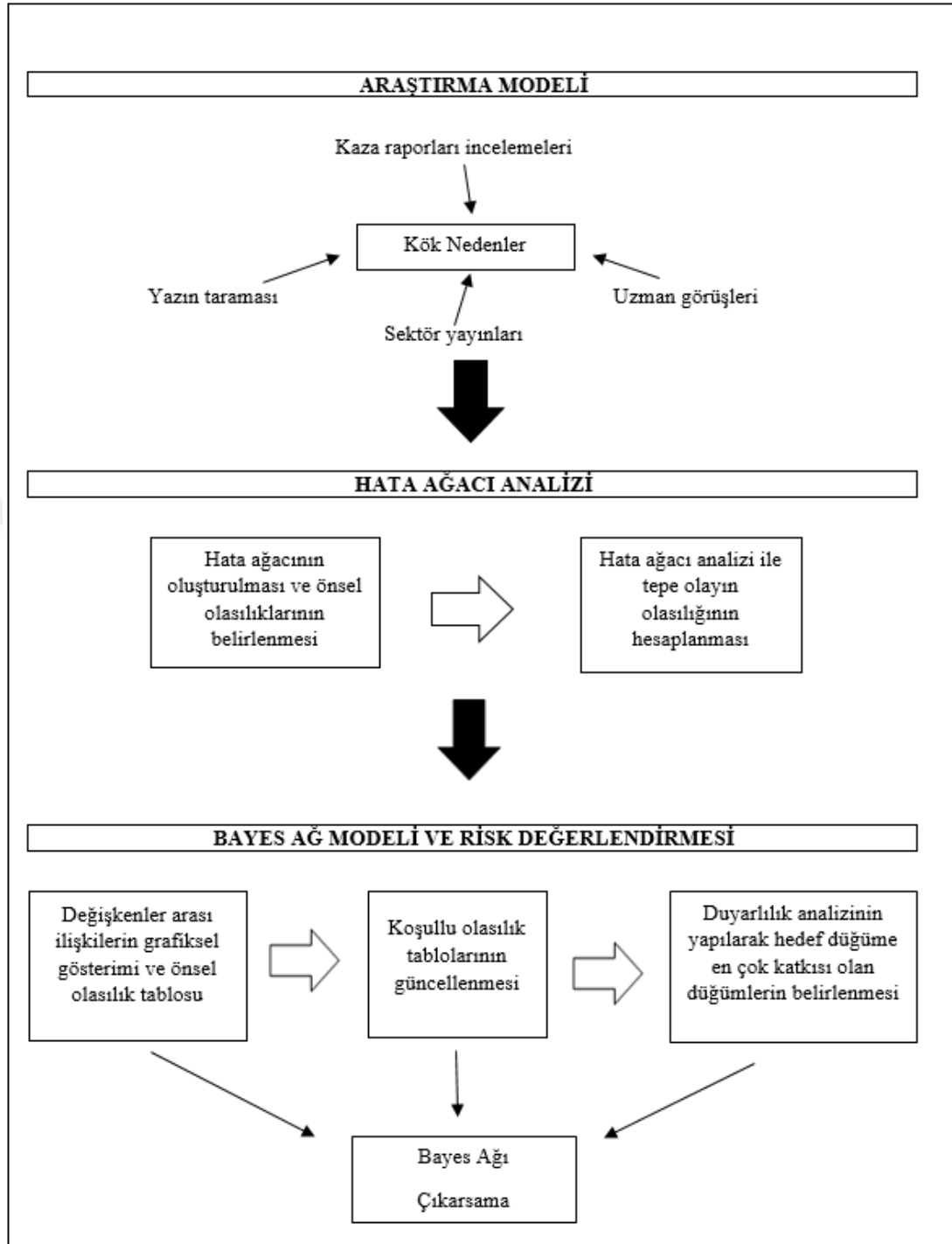
3.2 Araştırmada Kullanılan Metot

Bu bölümde ana olarak araştırmanın modeli ve süreçleri incelenmektedir. Araştırma modeli ve sürecine ilişkin bilgi verilmesinin ardından, araştırmada kullanılan veri toplama araçları açıklanmıştır. Sonrasında ise görüşlerine başvurulmuş uzmanlara yönelik seçim süreci ve kullanılan örneklem yöntemleri açıklanmıştır.

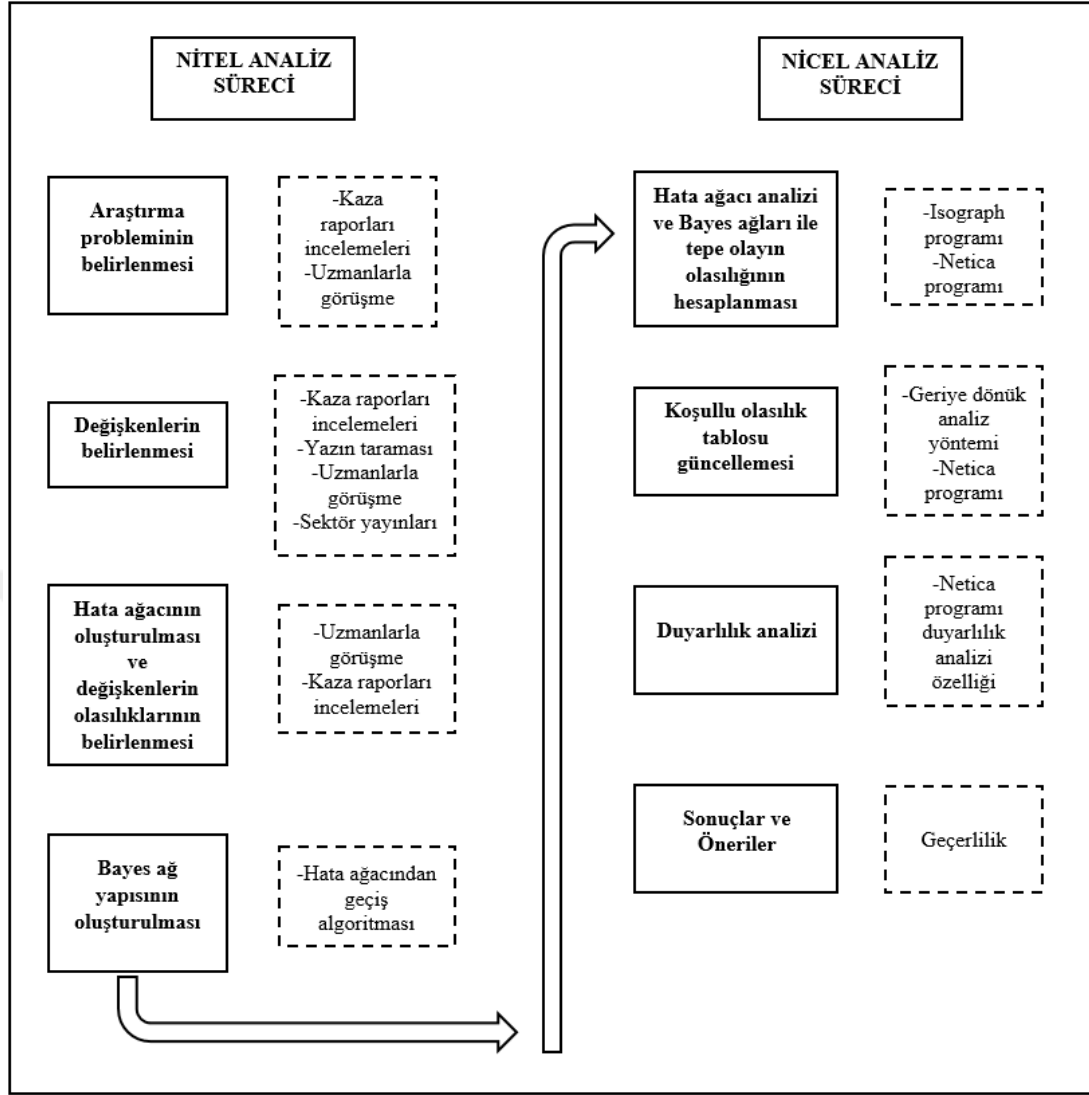
3.2.1 Araştırmanın Modeli

Araştırma modeli nitel ve nicel araştırmalar olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Öncelikli olarak nitel araştırmalar kapsamında literatür taramasına ilave olarak uzman görüşleri de toplanarak, seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarında çatışma tepe olayına sebebiyet veren kök nedenler belirlenmeye çalışılmıştır. Toplanan bu kök nedenler ile hata ağacı

oluşturulmuş, tepe olaya sebebiyet veren basit ve ara olaylar belirlenerek aralarındaki ilişkiler mantıksal kapılar kullanılarak şematize hale getirilmiştir. Sonrasında tekrar uzman görüşleri alınarak kök nedenlerin önsel olasılıklarının hesaplanma süreci ile beraber araştırmanın nicel sürecine geçiş yapılmıştır. Bulanık küme teorisi kullanılarak elde edilen uzman görüşleri, uzmanların belirlenmiş ağırlık katsayıları da dikkate alınarak toplanıp, tek bir ortalama değer elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler durulaştırma yöntemi kullanılarak ölçülebilir sayılar haline getirilmiş ve hata ağacı analizi yapılarak çatışma tepe olayının olasılığı hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra geçiş algoritması kullanılarak (mapping algoritm) hata ağacı diagramından bayes ağlarına geçiş yapılmış ve kök nedenler yani düğümler arasındaki ilişkiler daha iyi bir şekilde gösterilmiştir. Bayes ağlarının hata ağacı ile kurulmasından sonra geriye dönük analiz yöntemi (backward analysis) ile önsel olasılıkların güncellemesi yapılarak sonsal olasılıklar (posterior probabilities) hesaplanmış ve son olarak hedef düğümlerin duyarlılık analizi de yapılarak, hedef düğümlerin gerçekleşmesine katkısı en fazla olan düğümler belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.1’de araştırma modelinin ve Şekil 3.2’de araştırma sürecinin şematize halleri görülmektedir:



Şekil 3.1 Araştırmanın modeli



Şekil 3.2 Araştırmanın süreçleri

3.2.2 Verilerin Toplanması

Gemiden gemiye transfer operasyonlarının yakın bir geçmişe sahip olması sebebi ile raporlanmış yeterli ve güvenilir verinin bulunmuyor oluşundan kaynaklı olarak araştırmanın modelinde kaza raporları, sektör yayınları incelemeleri ile beraber uzman görüşlerine başvurularak verilerin toplanması amaçlanmıştır.

Çalışmanın nitel sürecinde problemin tanımlanması ve çalışmanın ana konusunun belirlenmesi sonrasında; seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonu yanaşma manevralarında çatışmaya yani gemilerin birbirleri ile temasına yol açan kök nedenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda mevcut kaza

raporları, gemiden gemiye transfer operasyonları üzerine literatür taraması ve sektörel yayınlar incelenerek kök nedenler üzerinde çalışılmıştır. Tablo 3.1’de mevcut kaza raporları ve raporlardan çıkartılan kök nedenler görülmektedir. Literatür incelemesi sonrasında toplanmış olan kök nedenler, bir sonraki başlıkta yer verilmiş uzmanların görüşlerine de başvurularak nihai hale getirilmiştir.

Tablo 3.1 İncelenen kaza raporları ve kök nedenleri

Rapor No	Raporu yayınlayan kurum	Kök nedenler
1	Kish P&I Club	Fiziksel yorgunluk, takım çalışması hataları, durumsal farkındalık eksikliği, aşırı güven hali
2	Kish P&I Club	Komutların tekrar edilmemesi, takım çalışması hataları, durumsal farkındalık eksikliği
3	The Nautical Institute MARS Report	Uygun olmayan usturmaçalar, iletişim bozukluğu, yetersiz planlama, yetersiz prosedürler
4	The Nautical Institute MARS Report	Şiddetli rüzgar, aşırı güven hali, yetersiz prosedürler
5	Riviera.com, NearMiss accident report	Şiddetli deniz&dalga, bağlama halatının kopması, yetersiz planlama
6	The Nautical Institute MARS Report	Uygun olmayan usturmaçalar, yetersiz planlama, yetersiz prosedürler, eksik emniyet toplantısı, iletişim bozukluğu
7	The Nautical Institute MARS Report	Yetersiz planlama, hatalı veya eksik karar alma, bilgi eksikliği, iletişim bozukluğu
8	The Nautical Institute MARS Report	Uygun olmayan usturmaçalar, ticari baskı
9	Marine Accident Investigation Branch (MAIB)	Ana makine arızası, iletişim bozukluğu, dil bariyeri, takım çalışması hataları, yanlış karar verme, yetersiz planlama, eksik emniyet toplantısı

Kök nedenler belirlendikten sonra hata ağacı yapısı oluşturulmuş, basit ve ara olaylar ile bunların arasındaki mantıksal ilişkiler uzman görüşleri de alınarak ortaya çıkartılmıştır. Sonraki süreçte araştırmanın nicel bölümü kapsamında her bir basit olayın bir başka ifade ile kök nedenlerin olasılık hesabı uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir. Hata ağacı analizi ile tepe olayın olasılığının belirlenmesi sonrasında geçiş algoritması kullanılarak bayes ağ yapısına geçiş yapılmıştır.

3.2.3 Kök Nedenlerin Belirlenmesi ve Hata Ağacının Oluşturulması Aşamasında Görüşlerine Başvurulan Uzmanların Seçimi

Kök nedenlerin ortaya çıkartılması ve hata ağacı yapısının oluşturulması sırasında fikirlerine başvurulmuş uzmanlara ait görevler ve görüşmelerin yapıldığı tarihler aşağıdaki Tablo 3.2’de yer almaktadır. Bu kapsamda çalışmadaki uzmanların belirlenmesinde; uzakyol kaptanı olarak görev yaptığı farklı gemiler ile farklı coğrafi bölgelerde gemiden gemiye tanker transfer operasyonu manevralarına katılmış olma kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Tez yazım aşamasında tüm dünyayı etkisi altına almış olan Covid-19 pandemi süreci sebebiyle bu aşamadaki uzman görüşmeleri yüzyüze görüşme yerine çevrim içi olarak görüntülü görüşmeler şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2 Kök nedenlerinin belirlenmesi ve hata ağacının oluşturulması aşamasında görüşülen uzman bilgileri

	Adı-Soyadı	Görev	Görüşme Yeri	Görüşme Tarihleri
1	Katılımcı 1	Uzakyol Gemi Kaptanı	Çevrim içi	24.07.2020, 13.08.2020
2	Katılımcı 2	Uzakyol Gemi Kaptanı	Çevrim içi	28.03.2020
3	Katılımcı 3	Uzakyol Gemi Kaptanı	Çevrim içi	09.07.2020
4	Katılımcı 4	Uzakyol Gemi Kaptanı	Çevrim içi	28.03.2020
5	Katılımcı 5	Uzakyol Gemi Kaptanı	Çevrim içi	10.06.2020
6	Katılımcı 6	Uzakyol Gemi Kaptanı	Çevrim içi	13.08.2020

3.3 Nitel Modelin Oluşturulması

Araştırmanın nitel modelinin oluşturulması süreci, araştırma probleminin ve değişkenlerinin belirlenmesine mutakiben uzman görüşleri de alınarak değişkenler arasındaki ilişkiye göre hata ağacı yapısının oluşturulmasına kadar ki süreçlerini kapsamaktadır.

3.3.1 Araştırma Probleminin Belirlenmesi

Gemiden gemiye yük transfer operasyonlarının ortaya çıkışı diğer tüm operasyonlarda olduğu gibi ihtiyaçtan kaynaklı olmuştur. Zaman içerisinde özellikle dökme sıvı yük taşıyan gemilerin taşımış oldukları yük hacimlerinin artmasına paralel olarak gemi tonajlarının ve su çekimlerinin de artması nedeniyle yaşanabilecekleri uygun limanların her yerde mevcut olmaması gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu gibi sorunların üstesinden gelebilmek adına daha ekonomik bir yol olarak yüklü olan bir gemideki yükün bir kısmı veya tamamının başka bir gemi veya gemilere boşaltılması operasyonları yani gemiden gemiye transfer operasyonları yapılmaya başlanmıştır. Özellikle çok büyük tonajdaki petrol tankerleri için bir limana bağlama zorunluluğu taşımaması nedeniyle, liman ücretlerinin düşük olması ve operasyon sürelerinin limana göre daha kısa olması gibi ekonomik sebeplerden ötürü tercih edilen bir operasyon türü olarak son yıllarda dünya üzerindeki farklı coğrafi bölgelerde sıklıkla yapılan operasyonlardan birisi haline gelmiştir.

Önceki paragrafta sıralanmış olan avantajlarının yanında yapılan operasyonun açık denizde yapılıyor olması, klasik liman manevrasından farklı olarak birbirlerine göre hareketli, farklı iki dinamik gemi içeriyor olması, transfer edilen dökme sıvı yüklerin sızıntısı durumunda yaşanabilecek çevre kirliliği ve petrol türevi ürünlerin yol açabileceği yangın gibi durumlar ile müdahale için başvurulabilecek imkanların liman operasyonlarına göre yakın çevrede ulaşılamayabiliyor olması gibi faktörler bu operasyonların denizcilik sektörü tarafından yüksek riskli olarak görülmesine ve risk yönetiminin sağlanarak, özel önlemler alınması gerekliliğine yol açmıştır.

Operasyonun doğası gereği, denizde yapılan transfer operasyonları içerisinde en riskli olarak her iki geminin de seyir halinde olduğu tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevraları olduğu yazın taraması, sektör yayınları ve geçmiş kaza istatistikleri incelendiğinde görülmektedir.

Yukarıda sıralanan sebeplerden ötürü araştırmanın problemi “her iki geminin de seyir halinde olduğu gemiden gemiye tanker transfer operasyonu yanaşma manevralarının risk analizi” olarak belirlenmiştir.

3.3.2 Kök Nedenlerin Belirlenmesi

Yazar tarafından uzman görüşlerine de başvurularak; mevcut literatür taraması, sektör yayınları ve kaza raporları incelenerek ortaya çıkartılmış olan kök nedenler yani basit olaylar, yine uzmanlar ile yapılan görüşmeler de dikkate alınarak aşağıdaki Tablo 3.3’de belirtildiği şekilde tanımlanmıştır. Tanımlanan kök nedenlere sırası ile X1, X2, ..., X31 numaraları verilmiştir.

Tablo 3.3 Kök nedenlerin tanımlanması

Kök neden	Kod	Tanımlama
Ana makine arızası	X1	STS yanaşma manevrası sırasında gemilerden herhangi birisinde yaşanabilecek bir gemi ana makine arızasını tanımlamaktadır.
Dümen sistemi hatası	X2	STS yanaşma manevrası sırasında gemilerden herhangi birisinin dümen sisteminde yaşanabilecek, geminin belirlenmiş rotada ilerlemesini veya gerekli rota değişiklikleri yapabilmesini kısmen veya tamamen kısıtlayan her türlü arızayı tanımlamaktadır.
Halat kopması	X3	Yanaşma manevrası sırasında bağlama halatlarından bir veya birkaçının koparak, emniyetli yanaşma manevrasının bozulması ve bunun sonucu olarak gemilerin birbirlerine temas etmesine sebebiyet veren olayı tanımlamaktadır.
Yüksek sürat	X4	Gemilerin birbirlerine yaklaşma manevraları esnasında, emniyetli olmayan yüksek hızda bir sürat ile manevranın yapılması durumunu tanımlamaktadır.
Yanlış manevra açısı	X5	Rüzgar ve deniz etkileri ile gemi süratleri gibi faktörler dikkate alınmadan, uygun olmayan bir yaklaşma açısı ile emniyetsiz şekilde STS yaklaşma manevranın gerçekleştirilmesi durumunu tanımlamaktadır.

Tablo 3.3 devamı

Yetersiz planlama	X6	Operasyon öncesinde gemilerin kendi içeisinde ve/veya bağlama kaptanı ile birlikte yanaşma manevrasının aşamaları ile ilgili olarak planlama yapmaması veya eksik yapması durumunu tanımlamaktadır.
Ticari baskı	X7	Bağlama kaptanı veya gemi kaptanlarından birisinde veya her ikisinde de görülen, ticari kaygılar sebebiyle operasyon emniyetinden ödün verilmesi veya bazı durumlarda bir kısım veya tamamının yok sayılması durumunu tanımlamaktadır.
Yetersiz prosedür	X8	Operasyona konu gemilerin veya servis sağlayıcı firmanın emniyetli çalışma sistemleri ve organizasyon sistemleri içerisinde; yapılacak STS yanaşma manevrası özelinde yeterli prosedürlerin veya yönlendirmelerin bulunmaması durumunu tanımlamaktadır.
Emniyetsiz personel donatımı	X9	STS yanaşma manevrasının emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılacak, uluslararası dinlenme saatlerine riayet edecek şekilde istirahat etmiş yeterli sayıda personelin gemilerin birisinde veya her ikisinde bulundurulmuyor olması durumunu tanımlamaktadır.
Fiziksel yorgunluk	X10	STS yanaşma manevrası sırasında operasyona konu personelin fiziksel açıdan yetersiz, yorgun hissetmesi durumudur.
Zihinsel yorgunluk&Stress	X11	Operasyona konu personelin performansını etkileyecek seviyede mental olarak yorgun ve stresli hissetmesi durumunu ifade etmektedir.
Takım çalışma hatası	X12	Operasyona konu gemilerin köprüüstü takım çalışması, yönetimi açısından eksiklerinin bulunması durumudur.
Durumsal farkındalık eksikliği	X13	Manevra esnasında sorumlu personelin kısa bir süre için bile olsa etrafında gelişmekte olan olaylar hakkında gözlem yapamama veya gelişmekte olan olayların farkına varamama durumunu tanımlamaktadır.
Yanlış karar verme	X14	Manevra sırasında bağlama kaptanı veya gemi kaptanları tarafından eksik veya hatalı karar verilmesi durumunu tanımlamaktadır.
Eğitim eksikliği	X15	Operasyona konu personelin STS yanaşma manevraları özelinde bilgi seviyesinin yeterli olmaması durumunu tanımlamaktadır.

Tablo 3.3 devamı

Tecrübe eksikliği	X16	Operasyona konu personelin STS yanaşma manevraları özelinde tecrübe seviyesinin yeterli olmaması durumunu tanımlamaktadır.
Bilgi eksikliği	X17	Operasyona konu personelin STS yanaşma manevraları özelinde bilgi seviyesinin yeterli olmaması durumunu tanımlamaktadır.
Aşırı güven hali	X18	Operasyona konu gemi kaptanlarından birisinin veya herikisinin ya da bağlama kaptanının rehavete kapılarak karar alması, aşırı gönül rahatlığı içerisinde hareket etmesi durumunu tanımlamaktadır.
İletişim bozukluğu	X19	Yanaşma manevraları sırasında gemi içerisinde veya diğer gemi ile olan haberleşme muharebeleri sırasında güçlük yaşanması, yapılan çağrılara karşı taraftan cevap alınamaması veya haberleşme cihazı kaynaklı sıkıntı yaşanması durumunu ifade etmemektedir.
Komut tekrar hatası	X20	Haberleşme emir komuta zinciri içerisinde iletilen mesaja karşılık alındı onayı veya karşı cevabın verilmemesi, verilen komutların karşı tarafca tekrarlanmaması durumlarını tanımlamaktadır.
Eksik bilgilendirme toplantısı	X21	Yanaşma manevrası öncesi gemiler arasında ve bağlama kaptanı ile birlikte emniyet toplantısının yapılmaması veya eksik yapılması durumunu ifade etmektedir.
Dil bariyeri	X22	Operasyona konu gemilerin aralarında veya bağlama kaptanı ile haberleşmede; farklı milliyete mensup olunmasından kaynaklı olarak anlaşmazlık, teleffuzda zorluk yaşanması durumunu tanımlamaktadır.
Transfer bölgesi hatası	X23	Genellikle sınırları önceden belirlenmiş olan ve her bir bölgenin bağlı olduğu yerel idareler tarafından belirlenmiş olan rüzgar, deniz vb birbirinden farklı kriterleri bulunan, STS operasyonlarının yapıldığı özel deniz alanlarını belirtmektedir.
Yoğun trafik hatası	X24	STS operasyonlarının yapılacağı deniz sahaları genellikle önceden belirlenmiş ve gemi veya balıkçı trafiği açısından belirli sınırlamaları, kuralları olan özel sahalar olmasına rağmen zaman zaman bu sınırlamalara uyulmadığı ve transfer sahaları içerisinde gemi, ufak bot, balıkçı vb deniz aracı trafiğinin görülebileceği durumları tanımlamaktadır.

Tablo 3.3 devamı

Kısıtlı görüş hatası	X25	STS operasyonları doğası gereği emniyetli seviyede, iyi görüş koşullarında gerçekleştirilen operasyonlardır. Bu çalışmada kullanılmış olan kısıtlı görüş tanımı, operasyonun yapılabileceği en düşük emniyetli görüş mesafesini tanımlamaktadır. Ayrıca gece saatlerinde yapılan yanaşma manevraları da karanlık hava sebebiyle bu tabirin içerisinde düşünülmüştür.
Şiddetli rüzgar hatası	X26	STS operasyonları, en yüksek sınırları transfer bölgesine bağlı olarak değişebilen emniyetli rüzgar sınırları içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan şiddetli rüzgar tanımı, operasyonun yapılabileceği en yüksek emniyetli görülmüş rüzgar kuvvetini tanımlamaktadır.
Şiddetli deniz&dalga hatası	X27	STS operasyonları, en yüksek sınırları transfer bölgesine bağlı olarak değişebilen emniyetli deniz, dalga sınırları içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan şiddetli dalga tanımı, operasyonun yapılabileceği en yüksek emniyetli görülmüş deniz&dalga durumunu tanımlamaktadır.
Soğuk iklim hatası	X28	Operasyonun yapıldığı transfer bölgesinde hava sıcaklığının, operasyonun yapılmasına müsaade eder derece de fakat normal hava şartlarına kıyasla daha soğuk yada sıcak olduğu iklim durumlarını ifade etmektedir.
Hatalı römorkör manevrası	X29	Eğer römorkör kullanılıyorsa, yanaşma manevrasında römorkörün yapmış olduğu hatalı veya uygun olmayan manevra ile operasyon emniyetinin riske atılması durumunu tanımlamaktadır.
Usturmaça hatası	X30	Operasyonda kullanılan usturmaçaların; minimum standartları karşılayamaması, iyi konumda pozisyonlandırılmamış olması, yeterli sayıda olmaması ve iyi kondisyonda bulunmaması durumlarını tanımlamaktadır.
Bağlama kaptanı hatası	X31	Yanaşma manevrası esnasında bağlama kaptanı kaynaklı, operasyon emniyetini tehliye düşüren her türlü hatayı tanımlamaktadır.

3.3.3 Hata Ağacı Yapısının Oluşturulması

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

Araştırma konusu olan seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevraları için istenmeyen olay yani tepe olay “çatışma” olarak belirlenmiştir. Bu tepe olay daha sonra iç hatalar ve dış hatalar olmak üzere iki ana olaya ayrılmıştır. Bu iki ana olay tepe olaya “VEYA kapıları” ile bağlanmıştır. 31 adet kök neden bu ana olaylar içerisinde yine ara olaylar ile gruplandırılarak ve hata ağacı analizlerinin mantık kapıları da kullanılarak model ortaya çıkartılmıştır. Modelde olaylar arasındaki bağlantıların tümünde “VEYA kapısı” kullanılmıştır. 31 kök nedenden 22 tanesi iç hatalar altında, 9 tanesi ise dış hatalar ana olayları arasında gruplandırılmıştır. Kök nedenlerin isimlendirilmesi ve sınıflandırılmasında DNVGL deniz kazalarının nedenlerinin araştırılmasında kullanılan tekniklerden faydalanılmıştır (Marine Systematic Cause Analysis Technique-M-SCAT).

İç hatalar ana olayı kendi içerisinde teknik hata, insan hatası ve haberleşme hatası olmak üzere 3 ayrı ara olaya bölünmüştür.

Teknik hata; ekipman hatası ve manevra hatası alt ara olaylarına ayrılmıştır. Ana makine arızası, dümen sistemi hatası ve halat kopması kök nedenlerine basit olay olarak ekipman hatası altında yer verilmiştir. Yüksek sürat, yanlış manevra açısı ve yetersiz planlama kök nedenleri basit olay olarak manevra hatası altında yer alırken; organizasyonel hata ara olayı altında ticari baskı, yetersiz prosedür ve emniyetsiz personel donatımı kök nedenleri de basit olay olarak yine manevra hatası ara olayı altında gruplandırılmıştır.

İnsan hatası; aşırı güven hali basit olayına ilave olarak yorgunluk ve gemi personelinin yetersizliği şeklinde iki ayrı ara olaya ayrılmıştır. Yorgunluk ara olayı altında fiziksel yorgunluk ve zihinsel yorgunluk&stress kök nedenleri basit olay olarak yer almıştır. Personelinin yetersizliği ara olayı yine kendi içerisinde teknik olmayan

beceri eksikliği ve teknik beceri eksikliği şeklinde iki ara olaya daha bölünmüştür. Teknik olmayan beceri eksikliği ara olayının altında takım çalışma hatası, durumsal farkındalık eksikliği ve yanlış karar verme kök nedenleri basit olay olarak yer almıştır. Teknik beceri eksikliği ara olayının altında ise eğitim eksikliği, tecrübe eksikliği ve bilgi eksikliği kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır.

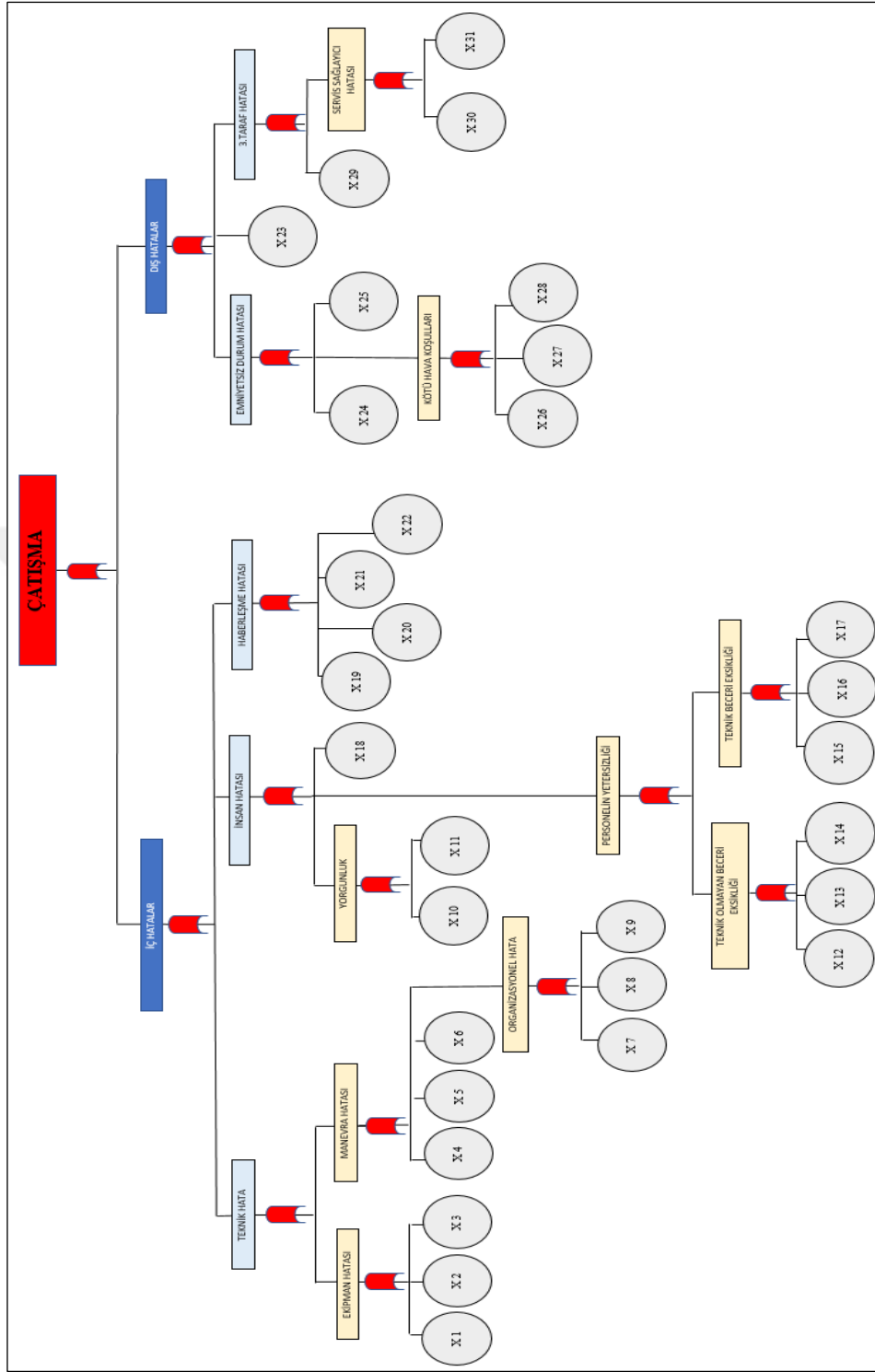
Haberleşme hatası ara olayının altında iletişim bozukluğu, komut tekrar hatası, eksik emniyet toplantısı ve dil bariyeri kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır.

Dış hatalar ana olayı altında; transfer bölgesi hatası kök nedeni basit olay olarak ve ayrıca 8 kök neden de emniyetsiz durum hatası ve 3.taraf hatası ara olayları altında basit olaylar olarak gruplandırılmıştır.

Emniyetsiz durum hatası ara olayının altında; kısıtlı görüş hatası ve yoğun trafik hatası kök nedenleri basit olay olarak, kötü hava koşulları ara olayı altında da şiddetli rüzgar hatası, şiddetli deniz hatası ve soğuk iklim hatası kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır.

3.taraf hatası ara olayının altında hatalı römorkör manevrası kök nedeni basit olay olarak ve servis sağlayıcı hatası ara olayının altında da usturmaça hatası ve bağlama kaptanı hatası kök nedenleri basit olay olarak gruplandırılmıştır.

Şekil 3.3 de hata ağacı ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 3.3 Hata ağacı

3.4 Nicel Modelin Oluşturulması

Hata ağacı yapısı oluşturulduktan sonra, uzman görüşleri alınarak kök nedenlerin önsel olasılıksal değeri bulanık küme teorisi vasıtasıyla sayısal veriler şeklinde tespit edilmeye çalışılmıştır. Sayısal veriler elde edildikten sonra ISOGRAPH yazılım programı aracılığı ile hata ağacı analizi yapılarak tepe olayın olasılıksal değeri tespit edilmiştir. Sonrasında geçiş algoritması kullanılarak bayes ağ yapısı oluşturulmuş, değişkenler arasındaki ilişkilerin sayısal gösterimi, ağ yapısında yer alan ebeveyn ve ona ait olan çocuk düğümler arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Daha sonra bayes ağlarında olasılık güncellemeleri ve duyarlılık analizi yapılmıştır.

3.4.1 Kök Nedenlerin Hata Olasılıklarının Hesaplanması Süreci

Seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevraları esnasında yaşanmış olan çatışma kazaları ile ilgili olarak yeterli sayıda güvenilir istatistiksel veri bulunmuyor olmasından ötürü hata ağacı analizi ve bayes ağ yapısı oluşturulmadan önce kök nedenlerin olasılıklarını belirlemek için uzman görüşlerine başvurulmuştur.

3.4.1.1 Uzmanların Seçimi ve Uzman Ağırlık Katsayılarının Belirlenmesi

Uzman seçimi ve süreci 2.bölüm de “2.2.2.2.4 Önsel olasılıkların uzman görüşü kullanılarak belirlenmesi” başlığı altında belirtilmiş aşamalara göre gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısında yer alan kök nedenlerin olasılıklarının belirlenmesi sürecinde görüşüne başvurulacak olan uzmanlar belirlenirken; uzakyol kaptanı veya kılavuz kaptan olarak çalıştıkları farklı tip ve tonajdaki gemiler ile farklı coğrafi bölgelerde gemiden gemiye tanker transfer operasyonu manevralarına katılmış olmalarına dikkat edilerek 3 farklı uzman seçilmiştir. Seçilmiş olan uzmanlara ait bilgiler ve görüşme tarihleri Tablo 3.4 de sunulmaktadır:

Tablo 3.4 Kök nedenlerin olasılıklarının belirlenmesinde görüşülen uzmanlar

	Adı-Soyadı	Görev	Görüşme Yer	Görüşme Tarih
1	Katılımcı 1	Uzakyol Gemi Kaptanı	İzmir	07.10.2020
2	Katılımcı 2	Kılavuz Kaptan	İzmir	11.10.2020
3	Katılımcı 3	Akademisyen, Uzakyol Gemi Kaptanı	İzmir	20.10.2020

Uzmanların görüşlerini ifade ederken birbirlerinin yorumlarından etkilenmemeleri adına görüşmeler farklı zaman dilimlerinde ve yüz yüze gerçekleştirilmiştir. Her bir görüşme 30 dakikalık seanslar sonrasında uygun ara verilmesi ile birlikte toplamda yaklaşık 2-3 saat sürmüştür (görüşmelerin yapıldığı dönemde tüm dünyayı etkisi altına almış olan Covid-19 pandemisi sebebiyle görüşmeler açık havada ve gerekli pandemi tedbirleri alınarak gerçekleştirilmiştir). Görüşmelerin başında her bir uzmana çalışmanın amacı, model oluşturma süreci ile hata ağacı ve bayes ağ yapılarının oluşturulması üzerinde kısa bilgilendirme yapılmıştır. Kök nedenler ile ilgili olasılık değerlendirmeleri sorulmadan önce her bir kök neden üzerine bilgilendirme ve kök nedenlerin ortaya çıkartılma geçmişi hakkında da bilgilendirme yapılmıştır.

Uzmanların her birisi uzakyol kaptanı yeterliliğine sahip olmasına rağmen, her birisinin mevcut mesleği, sektör tecrübesi, eğitim seviyesi ve STS tecrübesi gibi farklı olan özelliklerinden dolayı kök nedenlerin olasılıkları üzerinde belirtmiş oldukları görüşlerinin ağırlıkları da aynı seviyede olmayacaktır. Diğer bir ifade ile bir kök nedenin olasılığı belirlenirken ağırlıklı ortalama alarak, her bir uzmanın değerlendirmesini aynı ölçüde etkili kabul edemeyiz. Shan ve diğerleri tarafından 2017 senesinde yapılmış olan araştırma çalışmasında değişkenlerin olasılıkları belirlenirken 4 farklı uzman görüşünden faydalanılmış ve her bir uzmanın nitelikleri ve ilgili tecrübeleri farklı olduğu için uzman ağırlık katsayıları belirlenerek, her bir uzmanın etkisi ölçüsünde değişkenlerin olasılıkları hesaplanmıştır (Shan ve diğer., 2017). Benzer şekilde Lavasani ve diğerleri tarafından 2015 senesinde yayınlanmış olan bir başka çalışmada değişkenlerin olasılıkları hesaplanırken 3 farklı uzman görüşünden

faydalanılmış ve ortalama olasılık değeri hesaplanırken uzman ağırlık katsayıları ile her bir uzmanın etkileri toplanarak ortalama olasılık değeri hesaplanmıştır (Lavasani ve diğer., 2015).

Bu çalışmada uzmanların olasılıklar üzerindeki etkileri yani ağırlıkları belirlenirken aşağıdaki Tablo 3.5’de belirtilmiş olan ağırlık kriterleri göz önüne alınarak, her bir uzmanın ağırlık katsayısı Tablo 3.6’da belirlenmiştir.

Tablo 3.5 Uzman ağırlık katsayısı belirleme kriterleri

Değişken	Sınıflandırma	Skor
Meslek	Akademisyen / Uzakyol Kaptanı	5
	Kılavuz Kaptan	4
	Uzakyol Kaptanı	3
	Uzakyol Birinci Zabit	2
	Uzakyol İkinci Zabit	1
Deniz hizmeti	>15 yıl	5
	12-15 yıl	4
	9-12 yıl	3
	6-9 yıl	2
	<6 yıl	1
Eğitim seviyesi	Doktora	5
	Yüksek Lisans	4
	Lisans	3
	Yüksek Okul	2
	Meslek Lisesi	1
STS tecrübesi	>50 operasyon	5
	35-50 operasyon	4
	20-35 operasyon	3
	5-20 operasyon	2
	< 5 operasyon	1

Tablo 3.6 Uzman profili ve ağırlık katsayıları

Uzman Sayısı	Meslek	Deniz Hizmeti	Eğitim Seviyesi	STS Tecrübesi	Ağırlık Faktörü	Ağırlık Katsayısı
U1	3	4	3	3	3+4+3+3=13	13/42=0,277
U2	4	5	3	4	4+5+3+4=16	16/42=0,340
U3	5	4	4	5	5+4+4+5=18	18/42=0,383

3.4.1.2 Kök Neden Olasılıklarının Uzman Görüşleri ile Elde Edilmesi

Uzman görüşlerine başvurulmadan önce yazar tarafından her bir kök nedene ait olasılığın uzman tarafından yanıtlanmasını kolaylaştırmak amacıyla sorular hazırlanmıştır. Uzmanlardan bu sorulara cevap verirken sayısal ifadeler yerine aşağıdaki Tablo 3.7 de örneği verilmiş olan sözel değişkenleri kullanmaları istenmiştir.

Sözel değişkenler belirlenirken farklı sayıda dilsel ve sayısal değişkenler içeren tablolar seçilebilmektedir. Chen ve Hwang (1992) tarafından yapılmış olan çalışmada 8 farklı değişken ölçeği belirtilmiştir. Bu çalışmada kök neden olasılıklarının tahmini için 7 sözel değişken ve 4 sayısal değişkenli tablo kullanılmıştır. 7 değişkenli tablonun kullanılma sebebi ise; insanın işleyen bellek kapasitesinin tipik tahmini 7 ± 2 parça olması ve bunun da insanların bir seferde yargılayabileceği uygun karşılaştırma sayısının 5 ve 9 aralığında olmasından kaynaklıdır (Huang, Chen ve Wang, 2001).

Uzmanlardan sorulara cevap verirken sayısal ifadeler yerine aşağıdaki Tablo 3.7’de örneği verilmiş olan sözel değişkenleri kullanmaları istenmiştir.

Tablo 3.7 Sözel değişkenler ve bulanık üyelik fonksiyonları

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

Tablo 3.7’de görüleceği üzere sözel değişkenlerin belirlenmesinde kullanılmış olan yamuk üyelik fonksiyonu, kavramsal ve operasyonel kolaylık gibi avantajlara sahip olduğu için bulanık sayıların üyelik fonksiyonu olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Yazdi ve Kabir, 2017).

Uzman görüşmeleri sonrasında her bir uzmanın kök nedenler için Tablo 3.7’yi baz alarak belirtmiş oldukları sözel ifadeler aşağıdaki Tablo 3.8’de belirtildiği şekildedir.

Tablo 3.8 Kök nedenler üzerine sözel uzman görüşleri

Kök Nedenler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
X1	ÇD	ÇD	D
X2	D	ÇD	ÇD
X3	AD	AD	AD
X4	ÇD	D	AD
X5	D	D	AD
X6	D	ÇD	D
X7	O	AD	AD
X8	D	ÇD	ÇD
X9	O	D	AD
X10	AD	D	O
X11	AD	O	D
X12	D	ÇD	O
X13	AD	D	O
X14	D	ÇD	AD
X15	D	ÇD	AD
X16	O	AD	AD
X17	D	ÇD	O
X18	AD	D	D
X19	AY	AD	O
X20	D	ÇD	AD
X21	D	D	O
X22	O	ÇD	AD
X23	D	ÇD	ÇD
X24	ÇD	D	D
X25	ÇD	ÇD	D
X26	AD	D	O
X27	D	D	AD
X28	D	ÇD	ÇD
X29	ÇD	ÇD	ÇD
X30	ÇD	ÇD	D
X31	D	ÇD	ÇD

3.4.1.3 Uzman Görüşlerinin Birleştirilmesi

Olasılıkların değerlendirilmesinde sözel değişkenlerin kullanılıyor olması uzmanların cevaplarını rahat bir şekilde, belli bir aralık dahilinde verebilmelerini sağlarken, sayısal veriler elde edebilme adına bu sözel ifadelerin kendilerine karşılık gelen bulanık sayılara dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bu noktada ise her uzmanın farklı bir görüşü bulunduğu için uzman ağırlık katsayıları dikkate alınarak uzman görüşlerinin uygun şekilde birleştirilmesi işleminin yapılması gerekmektedir.

Birden fazla uzman görüşünün olduğu durumlarda görüşleri birleştirmek için bulanık küme teorisine dayalı olarak farklı birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada 1996 senesinde Hsu ve Chen tarafından ifade edilmiş olan benzerlik birleştirme yöntemi (SAM-Similarity Agreement Method) formülleri kullanılmıştır. Formüllerin detaylı açıklaması 2.Bölüm de “2.2.2.2.5 Uzman görüşlerinin birleştirilmesi” başlığı altında yapılmıştır.

Örnek olarak “X9-Emniyetsiz personel donatımı” kök nedeni için uzman görüşleri birleştirme hesabı aşağıdaki Tablo 3.9’da gösterilmektedir:

Tablo 3.9 “X9 Emniyetsiz personel donatımı” değişkeni için birleştirme hesabı

Uzman 1		0,4	0,5	0,5	0,6
Uzman 2		0,1	0,2	0,2	0,3
Uzman 3		0,2	0,3	0,4	0,5
S (U12)	0,7		AA (U1)	0,775	
S (U13)	0,85		AA (U2)	0,775	
S (U23)	0,85		AA (U3)	0,85	
RA (U1)	0,3229		CC (U1)	0,2997	
RA (U2)	0,3229		CC (U2)	0,3316	
RA (U3)	0,3541		CC (U3)	0,3685	
U.A.K. (U1)	0,276596				
U.A.K. (U2)	0,340426				
U.A.K. (U3)	0,382979				
Birleştirme		0,226784	0,326784	0,363641	0,463641

Aynı birleştirme hesabı tüm kök nedenler için tekrarlanarak Tablo 3.10'daki bulanık sayı değerlerine ulaşılmıştır:

Tablo 3.10 Kök nedenlere ait birleştirilmiş bulanık sayılar

Kök nedenler	Birleştirme hesabı sonrasında bulanık sayılar
X1	(0,035, 0,135, 0,135, 0,235)
X2	(0,030, 0,130, 0,130, 0,230)
X3	(0,200, 0,300, 0,400, 0,500)
X4	(0,105, 0,205, 0,240, 0,340)
X5	(0,135, 0,235, 0,270, 0,370)
X6	(0,067, 0,167, 0,167, 0,267)
X7	(0,259, 0,359, 0,430, 0,530)
X8	(0,030, 0,130, 0,130, 0,230)
X9	(0,227, 0,327, 0,364, 0,464)
X10	(0,237, 0,337, 0,369, 0,469)
X11	(0,231, 0,331, 0,363, 0,463)
X12	(0,168, 0,268, 0,268, 0,368)
X13	(0,237, 0,337, 0,369, 0,469)
X14	(0,102, 0,202, 0,237, 0,337)
X15	(0,102, 0,202, 0,237, 0,337)
X16	(0,259, 0,359, 0,430, 0,530)
X17	(0,168, 0,268, 0,268, 0,368)
X18	(0,130, 0,230, 0,259, 0,359)
X19	(0,364, 0,464, 0,527, 0,627)
X20	(0,102, 0,202, 0,237, 0,337)
X21	(0,201, 0,301, 0,301, 0,401)
X22	(0,313, 0,413, 0,449, 0,549)
X23	(0,030, 0,130, 0,130, 0,230)
X24	(0,070, 0,170, 0,170, 0,270)
X25	(0,035, 0,135, 0,135, 0,235)
X26	(0,237, 0,337, 0,369, 0,469)
X27	(0,135, 0,235, 0,270, 0,370)
X28	(0,030, 0,130, 0,130, 0,230)
X29	(0,000, 0,100, 0,100, 0,200)
X30	(0,035, 0,135, 0,135, 0,235)
X31	(0,030, 0,130, 0,130, 0,230)

3.4.1.4 Birleştirilen Bulanık Sayıların Durulaştırılması Süreci

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

Durulaştırma sürecinde kullanılabilen farklı teknikler içerisinde ağırlık merkezi durulaştırma yönteminin diğer yöntemlere göre uygulanabilirliği çok daha kolay ve basittir (Leekwijck ve Kerre, 1999). 2.Bölümde “2.3.4 Bulanık Denetim Sistemleri” başlığı altında, ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi açıklanmış ve denklem (2.14) kullanılarak Tablo 3.11’deki her bir kök neden için bulanık sayılar durulaştırılarak tek bir sayısal değer ortaya çıkartılmıştır.

Tablo 3.11 Her bir kök nedene ait durulaştırılmış hata olabirlikleri (defuzzied failure possibility)

Basit Olaylar	Durulaştırılmış hata olabirlikleri	Basit olaylar	Durulaştırılmış hata olabirlikleri
X1	0,135	X17	0,268
X2	0,130	X18	0,244
X3	0,350	X19	0,495
X4	0,222	X20	0,219
X5	0,252	X21	0,301
X6	0,167	X22	0,431
X7	0,394	X23	0,130
X8	0,130	X24	0,170
X9	0,345	X25	0,135
X10	0,353	X26	0,353
X11	0,347	X27	0,252
X12	0,268	X28	0,130
X13	0,353	X29	0,100
X14	0,219	X30	0,135
X15	0,219	X31	0,130
X16	0,394		

3.4.1.5 Hata Olasılıklarının Hesaplanması

Kök nedenlere ait olasılıkların hesabındaki son aşama ise durulaştırılmış hata olabirliklerinden (defuzzied failure possibilities), hata olasılıklarının (failure probabilities) hesaplanması sürecidir. Bu süreçte 1988 senesinde Onisawa tarafından geliştirilmiş olan aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Onisawa, 1988):

$$1 / 10^K, DHO \neq 0$$
$$HO = 0, DHO = 0, K = \left(\frac{1-DHO}{DHO} \right)^{\frac{1}{3}} \times 2,301 \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 içerisinde HO-Hata Olasılıklarını, DHO ise Durulaştırılmış Hata Olabirliklerini ifade ederken, K değeri ise sabit bir katsayıdır.

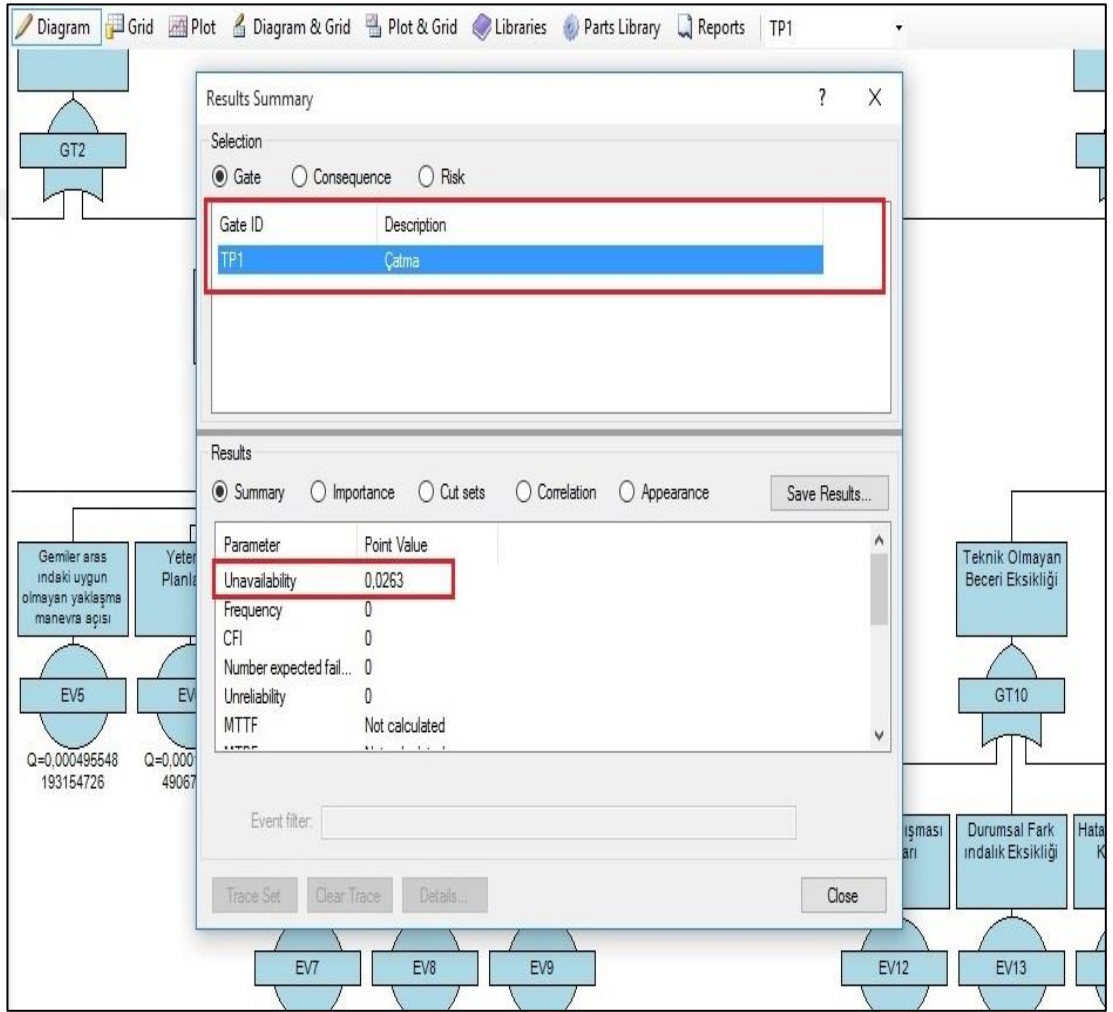
Sonuç olarak yukarıdaki formül kullanılarak elde edilmiş olan aşağıdaki Tablo 3.12'deki hata olasılık değerleri her bir kök neden için bayes ağ modelinde de hata olasılığı olarak baz alınmıştır.

Tablo 3.12 Her bir kök nedene ait hata olasılıklarının hesaplanması (failure probability)

Kök Nedenler	Durulaştırılmış hata olabilirlikleri	K-Sabit Katsayı	Hata Olasılıkları
X1	0,135	4,271	0,00005
X2	0,130	4,337	0,00005
X3	0,350	2,828	0,00148
X4	0,222	3,492	0,00032
X5	0,252	3,305	0,00050
X6	0,167	3,932	0,00012
X7	0,394	2,655	0,00221
X8	0,130	4,337	0,00005
X9	0,345	2,848	0,00142
X10	0,353	2,815	0,00153
X11	0,347	2,842	0,00144
X12	0,268	3,218	0,00061
X13	0,353	2,815	0,00153
X14	0,219	3,514	0,00031
X15	0,219	3,514	0,00031
X16	0,394	2,655	0,00221
X17	0,268	3,218	0,00061
X18	0,244	3,352	0,00044
X19	0,495	2,316	0,00483
X20	0,219	3,514	0,00031
X21	0,301	3,046	0,00090
X22	0,431	2,524	0,00299
X23	0,130	4,337	0,00005
X24	0,170	3,903	0,00013
X25	0,135	4,271	0,00005
X26	0,353	2,815	0,00153
X27	0,252	3,305	0,00050
X28	0,130	4,337	0,00005
X29	0,100	4,786	0,00002
X30	0,135	4,271	0,00005
X31	0,130	4,337	0,00005

3.4.2 Hata Ağacı Analizi ile Tepe Olay Olasılığının Hesaplanması

Kök nedenlerin olasılıkları hesaplandıktan sonra hata ağacı analizi yapılarak tepe olay olan “çatışma” olayı için hata olasılığı, ISOGRAPH isimli yazılım programı kullanılarak yapılmıştır ve tepe olay olasılık değeri Şekil 3.4’te görüldüğü gibi “0,0263” olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4 Hata ağacı ile tepe olay olasılık hesabı (Isograph programı, 2020)

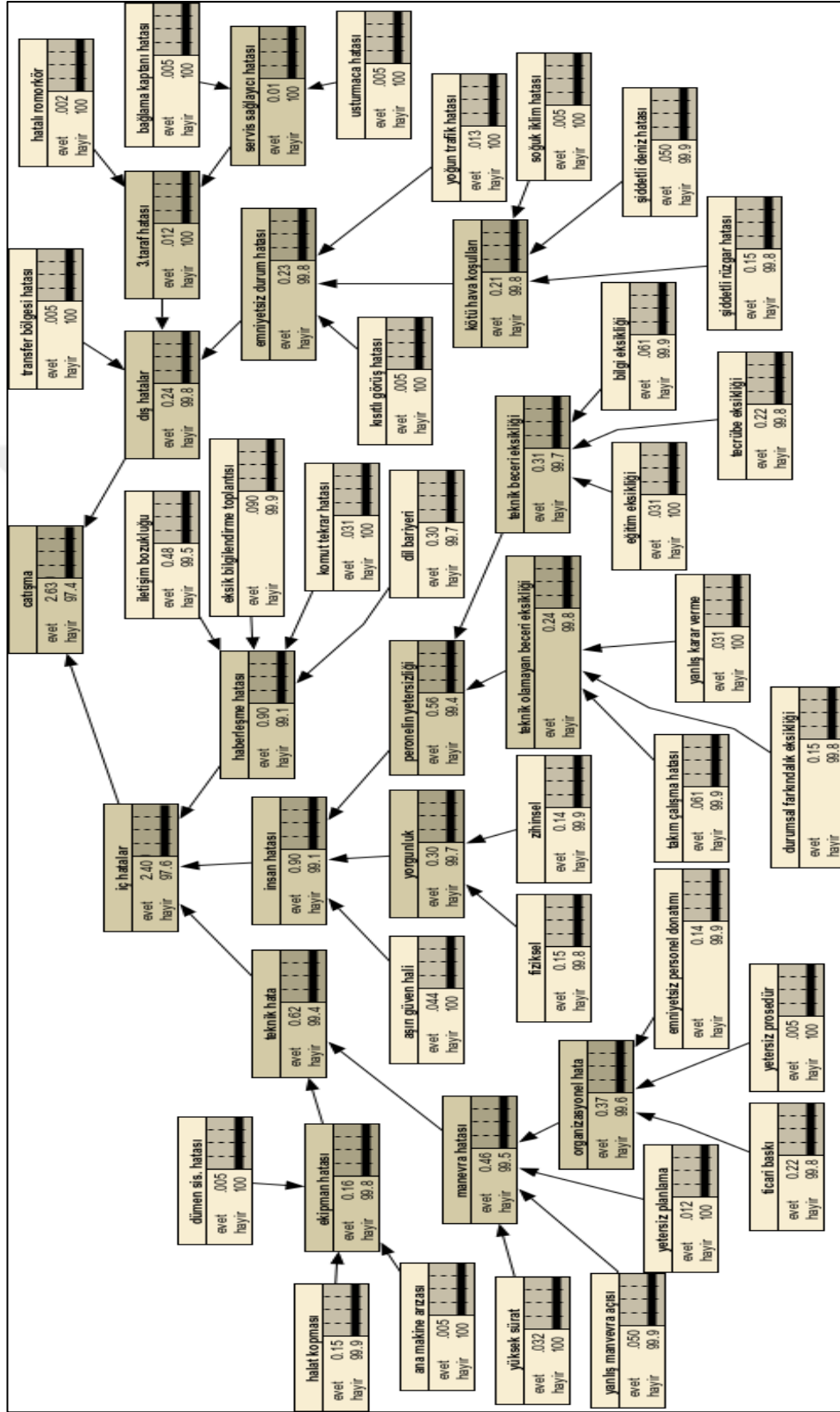
3.4.3 Hata Ağacı Diyagramından Bayes Ağlarına Geçiş

Hata ağacı oluşturulduktan sonra 2.Bölümde “2.3.1 Hata Ağacından Bayes Ağına Geçiş Modeli” başlığı içerisinde detaylı olarak anlatılmış olan geçiş algoritması (mapping algorithm) kullanılarak hata ağacı diagramından bayes ağlarına geçiş

yapılmıştır. Geçiş algoritmasında hata ağacında yer alan olaylar, bayes ağlarında düğümlere dönüştürülür ve bayes ağlarındaki koşullu olasılıklar ise hata ağacı yapısındaki mantıksal kapılar yoluyla oluşturulurlar. Şekil 3.5’de NETICA programı kullanılarak oluşturulmuş olan bayes ağ yapısı görülmektedir.

Önsel olasılık değerlerine herhangi bir düzeltme yapılmadan, kanıt olarak NETICA programına girildiğinde seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevraları için “çatışma” kazasının yaşanma olasılığı “%2,63” yani “0,0263” olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık değeri hata ağacı analizi ile hesaplanan olasılık değeri ile aynıdır. Bunun en büyük sebebi ise bayes ağlarındaki düğümlerin koşullu olasılıklarının hata ağacından geçiş algoritması kullanılarak oluşturulmasıdır.

Hata ağacı ve bayes ağları analiz yöntemlerinin her ikisinde de “çatışma” kazası için aynı olasılık değerinin (0,0263) bulunuyor olması bize oluşturulan ağ yapısının doğru olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.5 Önsel olasılıklar ile oluşturulmuş bayes ağ yapısı (NETICA programı, 2020)

3.4.4 Koşullu Olasılık Tabloları

Koşullu olasılık tablolarının oluşturulması ile ilgili olarak 2.Bölüm de “2.2.2.2.3 Koşullu olasılık değerlerinin belirlenmesi” başlığının altında belirtildiği üzere, bayes ağları oluşturulurken hata ağacı diagramlarından geçiş algoritması kullanıldığından koşullu olasılık tablolarının oluşturulmasında hata ağacındaki mantıksal kapılar ve uzman görüşlerinden faydalanılmaktadır. Hata ağacı diagramında kullanılmış olan “VEYA” mantıksal kapısı, bayes ağlarında ebeveyn düğüm ile çocuk düğüm arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. NETICA programında oluşturulan bayes ağ yapısında her bir düğüme “evet” ve “hayır” şekilde iki durum atanmıştır. Burada “evet” durumu değişkenin gerçekleşeceği anlamına gelir iken “hayır” durumu ise değişkenin gerçekleşmeyeceği anlamını taşımaktadır. Örnek olarak “Teknik beceri eksikliği” düğümü için hazırlanmış olan koşullu olasılık tablosu Tablo 3.13’de görülmektedir. Bu tablodan görüleceği üzere teknik beceri eksikliği düğümünün ebeveyn düğümlerinden herhangi birisinin alacağı “evet” durumu, teknik beceri eksikliği durumunun gerçekleşeceğini yani durumunun “evet” olacağını göstermektedir. Benzer şekilde teknik beceri eksikliği düğümünün durumunun “hayır” olabilmesi ancak tüm ebeveyn düğümlerinde durumlarının “hayır” olma koşuluna bağlıdır.

Tablo 3.13 Teknik beceri eksikliği düğümünün koşullu olasılık tablosu

Eğitim Eksikliği		Evet				Hayır			
Tecrübe Eksikliği		Evet		Hayır		Evet		Hayır	
Bilgi Eksikliği		Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Teknik Beceri Eksikliği	Evet	1	1	1	1	1	1	1	0
	Hayır	0	0	0	0	0	0	0	1

Tablo 3.13 te her ne kadar tüm ebeveyn düğümlerin durumu “hayır” olduğu zaman hedef düğüm gerçekleşmez şeklinde yorumda bulunsak ta yine de teknik beceri eksikliği düğümünün durumunun “evet” olma olasılığı bulunabilmektedir. Böyle durumlarda oluşturulmuş olan bu koşullu olasılık tablolarındaki “1”, “0” yani “evet”, “hayır” değerleri yerine yüzde olarak rakamsal ifadeler belirtmek daha doğru olacaktır. Burada yine uzman görüşlerinden faydalanılarak koşullu olasılık tabloları üzerinde

düzeltilmeler yapılabilir. Örnek çalışmalar içerisinde; Chang ve diğerleri tarafından 2018 senesinde yapılmış olan çalışmada düğümlerin koşullu olasılık değerleri uzman görüşlerine başvurularak ağ yapısı içerisinde güncellenmiş ve böylelikle risk güncellemesi yapılmıştır (Chang ve diğer., 2018). Benzer şekilde Yuan ve diğerleri tarafından 2018 senesinde yapılmış olan çalışmada da uzman görüşleri alınarak koşullu olasılık değerleri düzeltilmiş ve ağ yapısının güncellenmesi yapılmıştır (Yuan ve diğer., 2018).

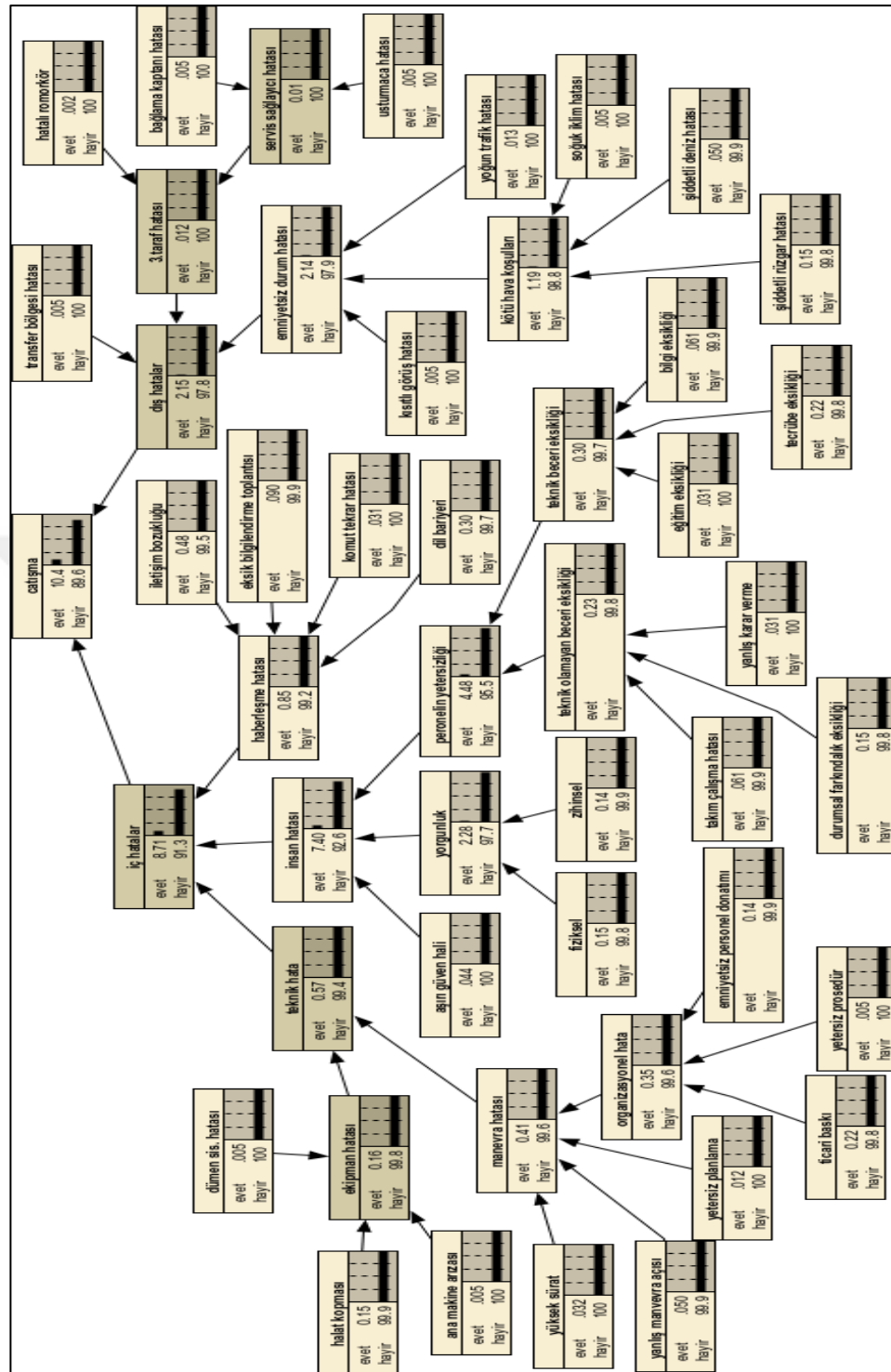
Tablo 3.14’te uzman görüşlerine başvurularak oluşturulmuş olan “teknik beceri eksikliği” düğümü için düzeltilmiş koşullu olasılık tablosu görülmektedir.

Tablo 3.14 Teknik beceri eksikliği düğümü için düzeltilmiş koşullu olasılık tablosu

Eğitim Eksikliği		Evet				Hayır			
Tecrübe Eksikliği		Evet		Hayır		Evet		Hayır	
Bilgi Eksikliği		Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Teknik Beceri Eksikliği	Evet	100	97	96	94	98	96	92	0
	Hayır	0	3	4	6	2	4	8	100

Bayes ağ yapısı içerisinde yer alan “manevra hataları”, “organizasyon hataları”, “yorgunluk”, “insan hataları”, “haberleşme hataları”, “teknik olmayan beceri eksikliği”, “teknik beceri eksikliği”, “emniyetsiz durumlar”, “kötü hava koşulları” ve “gemi personelinin yetersizliği” hedef düğümlerinin koşullu olasılık değerleri de benzer şekilde uzman görüşleri alınarak güncellenmiştir.

Şekil 3.6’da koşullu olasılık değerlerinin uzman görüşleri ile güncellenmesi sonrasında bayes ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 3.6'daki koşullu olasılıkların uzman görüşleri ile güncellenmesi sonrasında kurulmuş olan bayes ağ yapısı incelendiğinde; seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarında “çatışma” kazasının yaşanma riskinin %10,4 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu durum yapılan manevraların ne kadar tehlikeli bir operasyon olduğunu ve yeterli önlemler alınmadığı takdirde bu risk yüzdesinin kolayca yukarıya tırmanabileceğini göstermektedir. Risk yüzdesinin düşürülmesi ise ancak risklerin biliniyor olmasına ve risk azaltıcı tedbirlerin alınıyor olmasına bağlıdır.

3.4.5 Geriye Doğru Çıkarsama

Bayes ağ yapısı içerisinde olasılıkların güncellenmesi ile ilgili 2.Bölümde “2.2.4 Bayes Ağlarında Olasılıkların Güncellenmesi” başlığında da bahsedildiği üzere, bayes ağlarında oluşturulan bir kaza senaryosunun risk olasılığı güncellenebilmektedir. Bayes ağları kurulurken girilen önsel olasılıklar, yeni bir kanıt elde edildiğinde güncellenebilmektedir ki bu bayes ağlarının önemli avantajlarından bir tanesidir. Bayes ağ yapısında geriye dönük analiz (backward analysis) yapılarak gerçekleştirilen olasılık güncellemelerinde basit olayların önsel olasılıkları girdi olarak kullanılarak ve yaprak düğüm için gerçekleşme olasılığı %100'e getirilerek, ağ içerisindeki düğümlerin sonsal olasılık değerleri hesaplanabilmektedir. Olasılık güncellemeleri sonrasında düğümlerin sonsal olasılıkları elde edilmekte, bu sayede önsel ve sonsal olasılıkların arasındaki farklılık kıyaslaması yapılarak istenmeyen olaya neden olan en olası kritik değişkenlerin belirlenmesi sağlanabilmektedir.

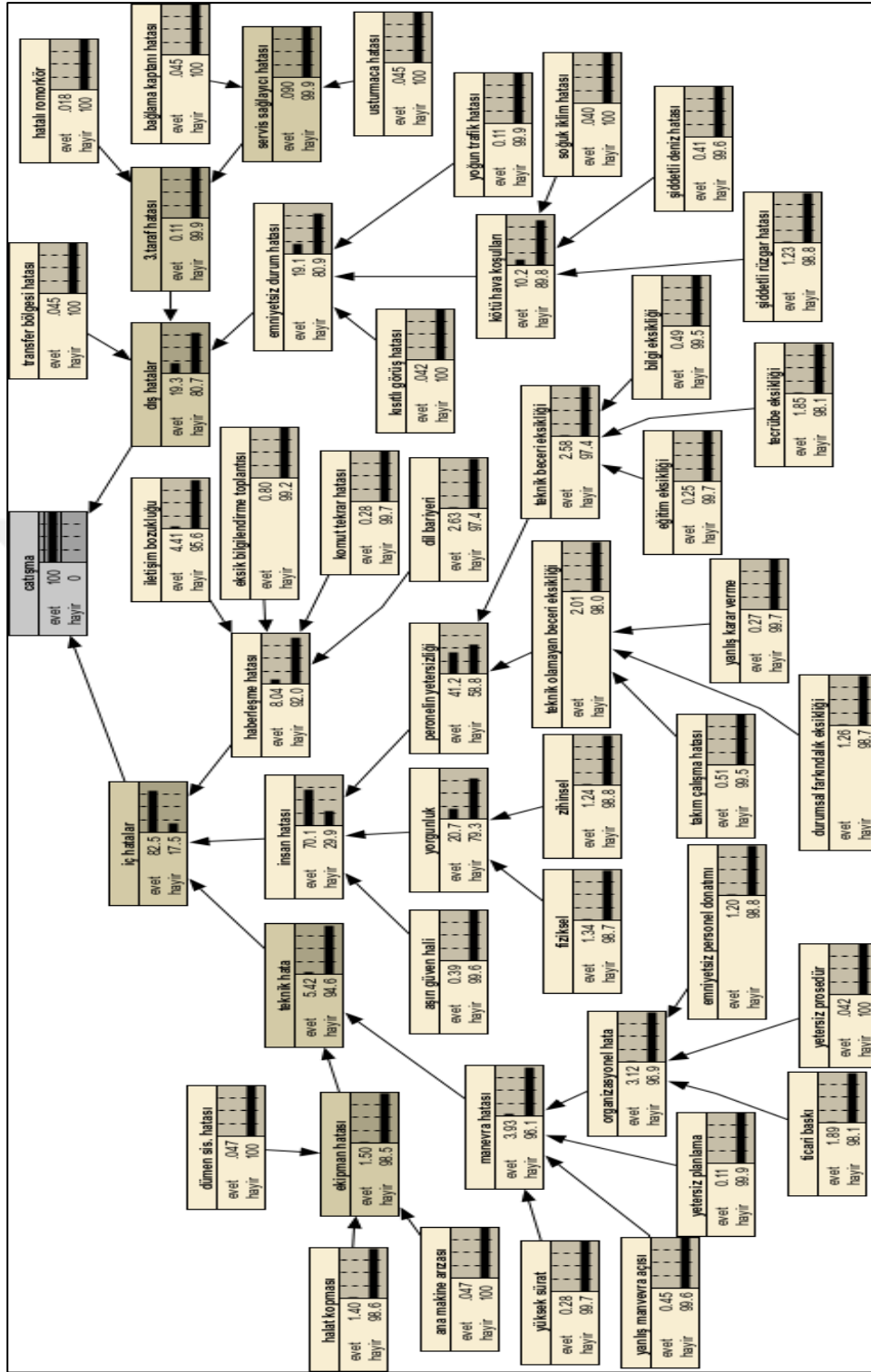
Çatışma olayı kanıt olarak kullanılarak yani çatışma olayının gerçekleşmesi durumu varsayılarak, geriye dönük analiz ile güncellenmiş olan olasılık değerleri Tablo 3.15'de gösterilmektedir.

Tablo 3.15 D    mlere ait   nsel ve sonsal olasılık de erleri tablosu

Basit Olaylar	��nsel Olasılık	Sonsal Olasılık
X1-Ana makine arızası	0,00005	0,00047
X2-D��men sistemi hatası	0,00005	0,00047
X3-Halat kopması	0,00148	0,01402
X4-Y��ksek s��rat	0,00032	0,00284
X5-Yanlış manevra açısı	0,00050	0,00448
X6-Yetersiz planlama	0,00012	0,00110
X7-Ticari baskı	0,00221	0,01892
X8-Yetersiz prosed��r	0,00005	0,00042
X9-Emniyetsiz personel donatımı	0,00142	0,01205
X10-Fiziksel yorgunluk	0,00153	0,01344
X11-Zihinsel yorgunluk&Stress	0,00144	0,01241
X12-Takım �alışma hatası	0,00061	0,00507
X13-Durumsal farkındalık eksikliği	0,00153	0,01259
X14-Yanlış karar verme	0,00031	0,00267
X15-Eğitim eksikliği	0,00031	0,00255
X16-Tecr��be eksikliği	0,00221	0,01851
X17-Bilgi eksikliği	0,00061	0,00492
X18-Aşır�ı g��ven hali	0,00044	0,00386
X19-İletişim bozukluğu	0,00483	0,04410
X20-Komut tekrar hatası	0,00031	0,00275
X21-Eksik bilgilendirme toplantısı	0,00090	0,00799
X22-Dil bariyeri	0,00299	0,02629
X23-Transfer b��lgesi hatası	0,00005	0,00045
X24-Yoğun trafik hatası	0,00013	0,00108
X25-Kısıtlı g��r��ş hatası	0,00005	0,00042
X26-şiddetli r��zgar hatası	0,00153	0,01226
X27-şiddetli deniz&dalga hatası	0,00050	0,00408
X28-Soğuk iklim hatası	0,00005	0,00040
X29-Hatalı r��mork��r manevrası	0,00002	0,00018
X30-Usturmaça hatası	0,00005	0,00045
X31-Ba�lama kaptanı hatası	0,00005	0,00045

NETICA programı üzerinde tepe olay olan çatışma olayının gerçekleşme olasılığı %100 yapılarak ve geriye dönük analiz yöntemi kullanılarak meydana getirilmiş olan bayes ağ yapısı görüntüsü ise Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir.





Şekil 3.7 Geriye dönük analiz yöntemi ile bayes ağ yapısı (NETICA programı, 2020)

Düğümlerin önsel ve sonsal olasılıkları arasındaki değişim miktarları incelendiğinde, bazı düğümlerin olasılık değişimlerinin diğerlerine oranla daha fazla oldukları görülmektedir. Bu değişimin fazla olmasının anlamı bu değişkenlerin “çatışma” tepe olayının meydana gelmesinde etkilerinin çok hassas olduğu, yani olasılık değişimi fazla olan düğümlerin seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevralarında çatışma kazasının yaşanmasında önemli rol oynayan değişkenler olduklarıdır. Tablo 3.15’deki önsel ve sonsal olasılık farklarından yola çıkarak “çatışma” kazasına yol açan en önemli düğümlerin; “bağlama halatının kopması”, “ana makine arızası”, “dümen sistemi arızası”, “yetersiz planlama” ve “iletişim bozukluğu” oldukları söylenebilir. Bu düğümlere yani değişkenlere, çatışma olayının yaşanmaması için daha fazla önem gösterilmesi ve risk değerlendirmelerinin iyi yapılmaları gerekmektedir.

3.4.6 Duyarlılık Analizi

Bayes ağlarında duyarlılık analizi, 2.Bölüm de “2.2.4 Bayes Ağlarında Duyarlılık Analizi” başlığı altında da bahsedildiği üzere, hedef düğümlere ait hesaplanmış olasılık değerlerinin küçük değişkenlere ne derece duyarlı olduğunun analizidir. Duyarlılık analizleri ağ senaryosu içerisindeki kritik değişkenlerin ortaya çıkarılması için yapılmaktadır. Bu sayede hedef düğümün gerçekleşmesine katkısı en fazla olan düğümler belirlenerek, hedef düğümün gerçekleşme olasılığını düşürebilmek adına gerekli tedbirler alınabilmesi sağlanmış olacaktır.

Seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevralarında yaşanabilecek çatışma kazasına yol açan ara düğümlere etki eden çocuk düğümlerin yani değişkenlerin önem derecelerinin belirlenebilmesi için NETICA programı içerisindeki duyarlılık analizi özelliği kullanılarak, hedef düğüm ile diğer düğümler arasındaki bağlantı derecesi; karşılıklı bilgi (mutual info) ve duyarlılık yüzdeleri (percent) hesaplanmıştır. Karşılıklı bilgi değeri ve duyarlılık yüzdesi yüksek olan düğümler, aynı zamanda hedef düğüm üzerinde de en çok etkiye sahip olan düğümlerdir.

NETICA programı kullanılarak ara düğümler için hesaplanmış olan duyarlılık analizi tabloları ve yorumlamaları şu şekildedir:

Tablo 3.16’da “manevra hatası” hedef düğümüne etki eden 7 değişkenin etki derecelerine göre sıralanışı görülmektedir. Görüleceği üzere “organizasyonel hatalar”, “ticari baskı” ve “emniyetsiz personel donatımı” düğümleri “manevra hatası” düğümü üzerinde en fazla etkiye sahiptir. Diğer önemli düğümler ise sırasıyla “yanlış manevra açısı” ve “yüksek sürat” düğümleridir. “Yetersiz prosedür” düğümü ise değeri sıfıra yakın olduğu için etki eden en düşük risk düğümünü göstermektedir. Tablo 3.16’daki duyarlılık yüzdelerine bakıldığında, seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarında çatışma kazasına yol açan manevra hatalarının azaltılabilmesi için organizasyonel hataya sebebiyet veren kök nedenlerin oluşmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır. Organizasyonel hataya sebebiyet veren kök nedenler içerisinde en yüksek yüzdeye sahip olan ticari baskının, STS operasyonlarındaki karar vericiler olan gemi kaptanları ve bağlama kaptanları üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılabilmesi için denizcilik firmaları, gemi işletenleri ve otoritelerin gerekli farkındalıklara sahip olmaları gerekmektedir. Emniyetsiz personel donatımı kaynaklı risklerin kontrol edilebilir olması için STS operasyonlarına konu gemilerin uygun yeterlilikte ve sayıda gemi personeli ile donatılmış olmalarına dikkat gösterilmelidir.

Tablo 3.16 Manevra hatası düğümü için duyarlılık analizi

Düğüm	Karşılıklı bilgi	Duyarlılık yüzdesi
Manevra hatası	0,0388	100
Organizasyonel hata	0,02732	70,4
Ticari baskı	0,01535	39,6
Emniyetsiz personel donatımı	0,0095	24,5
Yanlış manevra açısı	0,0036	9,27
Yüksek sürat	0,00225	5,81
Yetersiz planlama	0,00088	2,28
Yetersiz prosedür	0,00032	0,835

Tablo 3.17’de “insan hatası” hedef düğümüne etki eden değişkenlerin duyarlılık yüzdeleri incelendiğinde, hedef düğümün ebeveyni durumundaki “personelin

yetersizliği” düğümünün %46,4 lük oran ile en fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bir diğer ebeveyn düğüm olan “yorgunluk” düğümü de %21,4 lük oranı ile yüksek etkiye sahip olan ikinci düğüm olarak gözükmektedir. “Personelin yetersizliği” düğümünün ebeveyni olan diğer düğümlerin yüzdeleri incelendiğinde en büyük etkinin %2,38’lik duyarlılık yüzdesi ile “teknik beceri eksikliği” düğümünde olduğu görülmektedir. “İnsan hatası” hedef düğümünün ebeveyni konumundaki son düğüm olan “aşırı güven hali” düğümünün ise karşılıklı bilgi değeri 0,00136 ve duyarlılık yüzdesi 0,357 ile nispeten hedef düğüm üzerindeki etkisinin az olduğu görülmektedir. Bu analizler ışığında STS yaklaşma manevralarında çatışma kazasına yol açan insan hatalarının çoğunluğunun gemi personelinin yetersizliği ve yorgunluk nedenleri kaynaklı olarak oluştuğunu söyleyebilir ve bu doğrultuda insan hatalarının azaltılabilmesi için gerekli önlemlerin alınmasını sağlayabiliriz.

Tablo 3.17 İnsan hatası düğümü için duyarlılık analizi

Düğüm	Karşılıklı bilgi	Duyarlılık yüzdesi
İnsan hatası	0,38071	100
Personelin yetersizliği	0,17682	46,4
Yorgunluk	0,08166	21,4
Teknik beceri eksikliği	0,00904	2,38
Teknik olmayan beceri eksikliği	0,00722	1,9
Tecrübe eksikliği	0,0062	1,63
Fiziksel yorgunluk	0,00475	1,25
Zihinsel yorgunluk&Stress	0,00429	1,13
Durumsal farkındalık eksikliği	0,00413	1,08
Takım çalışması hatası	0,00167	0,44
Bilgi eksikliği	0,00158	0,414
Aşırı güven hali	0,00136	0,357
Yanlış karar verme	0,00092	0,242
Eğitim eksikliği	0,00083	0,219

Tablo 3.18’de “haberleşme hatası” düğümüne etki eden değişkenlerin duyarlılık yüzdeleri incelendiğinde, düğümün ebeveyni durumundaki 4 düğüm arasında en yüksek karşılıklı bilgi (0,03302) ve duyarlılık yüzdesinin (46,8) “iletişim bozukluğu” düğümüne ait olduğu görülmektedir. İletişim bozukluğunu “dil bariyeri” düğümü

0,01845 karşılıklı bilgi ve 26,1 duyarlılık yüzdesi ile takip etmektedir. “Eksik bilgilendirme toplantısı” ve “komut tekrar hatası” ebeveyn düğümleri ise diğer iki düğüme göre nispeten haberleşme hataları üzerinde etkileri daha düşük olarak görülmektedir. “Haberleşme hatası” hedef düğümünün gerçekleşme olasılığının düşürülebilmesi için STS manevraları esnasında gemi içerisinde veya diğer gemi ile olan haberleşme muharebeleri sırasında güçlük yaşanmaması, yapılan çağrılara karşı taraftan cevap alınabilmesi ve haberleşme cihazı kaynaklı sıkıntıların oluşmaması sağlanmalıdır. Aynı zamanda operasyona konu gemilerin kendi aralarında veya bağlama kaptanı ile haberleşmelerinde, farklı milliyete mensup olunmasından kaynaklı olarak anlaşmazlık veya teleffuzda zorluk yaşanması ihtimaline karşı uyanık olunmalı ve gerekli risk yönetimi yapılmalıdır.

Tablo 3.18 Haberleşme hatası düğümü için duyarlılık analizi

Düğüm	Karşılıklı bilgi	Duyarlılık yüzdesi
Haberleşme hatası	0,07061	100
İletişim bozukluğu	0,03302	46,8
Dil bariyeri	0,01845	26,1
Eksik bilgilendirme toplantısı	0,00549	7,78
Komut tekrar hatası	0,00188	2,66

Tablo 3.19’da “emniyetsiz durum hatası” hedef düğümünün ebeveyni konumunda olan diğer 3 düğümün karşılıklı bilgi ve duyarlılık yüzdeleri incelendiğinde, emniyetsiz durum hatasına en çok sebebiyet veren düğümün 0,06474’lük karşılıklı bilgi ve 43,4’lük duyarlılık yüzdesi ile “kötü hava koşulları” olduğu görülmektedir. “Kötü hava koşulları” düğümüne sebebiyet veren en önemli kök nedenlere bakıldığında ise sırasıyla “şiddetli rüzgâr hatası”, “şiddetli deniz hatası” ve “kısıtlı görüş hatası” değişkenlerinin oldukları görülmektedir. Risk olarak şiddetli rüzgârın daha yüksek yüzdeye sahip olmasının sebebi ise rüzgârlı havalarda operasyona konu gemiler, nispeten rüzgârsız sakin havalara göre, birbirlerine göre sabit bir rota ve sürat tutturarak seyir yapmalarının güçleşmesi olarak açıklanabilir. Emniyetsiz durum hatalarına sebebiyet veren ebeveyn düğümler içerisinde kısıtlı görüş hatasının ise önem derecesinin oldukça düşük olduğu karşılıklı bilgi (0,00024) ve duyarlılık yüzdesinden (0,161) anlaşılmaktadır. Bunun nedenini ise STS transfer

operasyonlarının yanaşma manevralarında zaten her iki geminin de oldukça yakın bir mesafede bulunması nedeniyle görüş 0’a yakın olmadığı müddetçe manevra emniyeti açısından gemilerin arasında çatışmaya yol açacak bir riskin oluşmadığı şeklinde yorumlayabiliriz. Son olarak “kötü hava koşulları” düğümünün ebeveyni durumundaki “soğuk iklim hatası” düğümü 0,145’lik duyarlılık yüzdesi ile en düşük risk derecesini ifade etmektedir. Bu ifadeden hava sıcaklığının, iyi hava koşullarına göre nispeten daha soğuk ya da sıcak olmasının STS yanaşma manevralarında emniyetsiz durum hatalarına yol açmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.19 Emniyetsiz durum hatası düğümü için duyarlılık analizi

Düğüm	Karşılıklı bilgi	Duyarlılık yüzdesi
Emniyetsiz durum hatası	0,14906	100
Kötü hava koşulları	0,06474	43,4
Şiddetli rüzgâr hatası	0,00678	4,55
Şiddetli deniz hatası	0,00228	1,53
Yoğun trafik hatası	0,00061	0,411
Kısıtlı görüş hatası	0,00024	0,161
Soğuk iklim hatası	0,00022	0,145

Tablo 3.20’de “3.taraf hatası” hedef düğümüne etki eden düğümlerin duyarlılık analizi görülmektedir. “Servis sağlayıcı hatası” 0,0014’lük karşılıklı bilgi ve 80,4’lük duyarlılık yüzdesi ile 3.taraf hatalarına sebebiyet veren en yüksek olasılıklı ebeveyn düğüm olarak görülmektedir. Diğer ebeveyn düğüm olan “hatalı römorkör manevrası” için ise karşılıklı bilgi 0,00026 ve duyarlılık yüzdesi 15,2 olarak hesaplanmıştır. Buradan hatalı römorkör manevrası kaynaklı olarak 3.taraf hatalarının oluşması olasılığının servis sağlayıcı hatalarına kıyasla oldukça düşük olduğunu söyleyebiliriz. Servis sağlayıcı hatalarına sebebiyet veren “usturma hatası” ve “bağlama kaptanı hatası” değişkenlerinin 0,00067’lik karşılıklı bilgi ve 38,5’lik duyarlılık yüzdesi ile eşit ölçüde servis sağlayıcı hatalarına sebebiyet verdikleri yorumunu yapabiliriz.

Tablo 3.20 3.taraf hatası düğümü için duyarlılık analizi

Düğüm	Karşılıklı bilgi	Duyarlılık yüzdesi
3.taraf hatası	0,00174	100
Servis sağlayıcı hatası	0,0014	80,4
Usturmaça hatası	0,00067	38,5
Bağlama kaptanı hatası	0,00067	38,5
Hatalı römorkör manevrası	0,00026	15,2

3.4.7 Bayes Modelinin Geçerliliği

Bayes ağ modeli geçerliliğinin doğrulanması 2.Bölüm de “2.2.6 Bayes Ağlarında Geçerlilik” başlığında belirtildiği üzere belirli aksiyomların doğrulanması yolu ile yani duyarlılık analizi ile gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi ile ebeveyn düğümlerin önsel olasılıklarında yapılan değişikliklerin, çocuk düğümlerin sonsal olasılıklarında da göreceli olarak bir değişikliğe sebebiyet verdikleri görülmüştür. Aynı şekilde ebeveyn düğümlerin önsel olasılıkları üzerinde yapılmış olan farklı orandaki değişikliklerin, çocuk düğümler üzerindeki etkilerinin tutarlı oldukları görülmüştür.

Aksiyom I ve II’nin doğrulanması örnek olarak Tablo 3.21’de gösterildiği şekilde yapılmıştır. Burada “durumsal farkındalık eksikliği” düğümü, “teknik olmayan beceri eksikliği” çocuk düğümünün ebeveyni konumundadır. Aksiyom I gereği önsel olasılık değeri 0,15 olan “durumsal farkındalık eksikliği” ebeveyn düğümünde 0,20’lik bir artış meydana geldiğinde, “teknik olmayan beceri eksikliği” çocuk düğümünde de 0,18’lik bir artış görülmektedir. Aksiyon II gereği ise ebeveyn düğümün önsel olasılığında ilave bir 0,20’lik daha artış meydana geldiğinde bu sefer çocuk düğümde 0,19’luk bir artış görülmektedir. Bu örnek ve tablo üzerinden yola çıkarak, ebeveyn düğüm üzerinde meydana gelecek olan artış veya azalmaların çocuk düğümün sonsal olasılığına etkilerinin tutarlı olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 3.21 Aksiyom I-II doğrulaması

	Ebeveyn Düşüm		Çocuk Düşüm	
	Durumsal farkındalık eksikliği		Teknik olmayan beceri eksikliği	
0,40 artma	Evet	0,55	Evet	0,60
0,20 artma		0,35		0,41
Önsel olasılık		0,15		0,23
0,05 azalma		0,10		0,18
0,1 azalma		0,05		0,14

Aksiyom III doğrulaması ise Tablo 3.22’de görüldüğü şekilde yapılmıştır. Burada “durumsal farkındalık eksikliği” ve “yanlış karar verme” düşümleri, “teknik olmayan beceri eksikliği” çocuk düşümünün ebeveyni konumundadırlar. Bu doğrulamada ebeveyn düşümlerin çocuk düşüm üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri öncelikle ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Sadece “durumsal farkındalık eksikliği” düşümünün olasılığı %100 yapıldığında “teknik olmayan beceri eksikliği” düşümünün olasılığı %92 olurken, sadece “yanlış karar verme” düşümünün olasılığı %100 yapıldığında “teknik olmayan beceri eksikliği” düşümünün olasılık değeri %97’dir. Her iki ebeveyn düşümün aynı anda gerçekleşmesi durumunda ise teknik olmayan beceri eksikliğin yaşanması olasılığının iki ebeveyn düşümün tek başına olan olasılık etkilerinden daha yüksek olması beklenmektedir. Tablodan da görüleceği üzere bu etki %98’dir. Benzer aksiyom diğer düşümler için tekrarlandığında da bu örneği doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.22 Aksiyom III doğrulaması

	Önsel olasılık		Etkisi		Etkisi		Durumsal farkındalık eksikliği ve Yanlış karar verme Etkisi	
	Evet	Hayır	Durumsal farkındalık eksikliği		Yanlış karar verme			
Teknik olmayan beceri eksikliği	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır
100 % olumlu	0,23	99,8	92	8	97	3	98	2
100 % olumsuz			0,087	99,9	0,20	99,8	0,057	99,9

3.4.8 Örnek Olay Analizi

Bayes ağlarının en faydalı özelliklerinden birisi ağ içerisindeki düğümlere kanıtlar girilerek, girilen kanıtların hedef düğüm üzerindeki etkilerinin ölçülebilmesidir. Bu özelliği gösterebilmek için M/T SAETTA ve M/T CONGER gemileri arasında Southwold, İngiltere limanında seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonu ayrılma manevrası esnasında yaşanmış olan çatışma kazasına ait yayınlanmış olan kaza raporu seçilmiştir ve rapordaki çatışma kazasına sebebiyet veren değişkenlerin kanıtları bayes ağ yapısına girilerek, yani gerçekleşme olasılıkları %100 yapılarak “çatışma” hedef düğümünün olasılık değişiminin nasıl olduğu gözlemlenmiştir.

3.4.8.1 Kaza Raporu

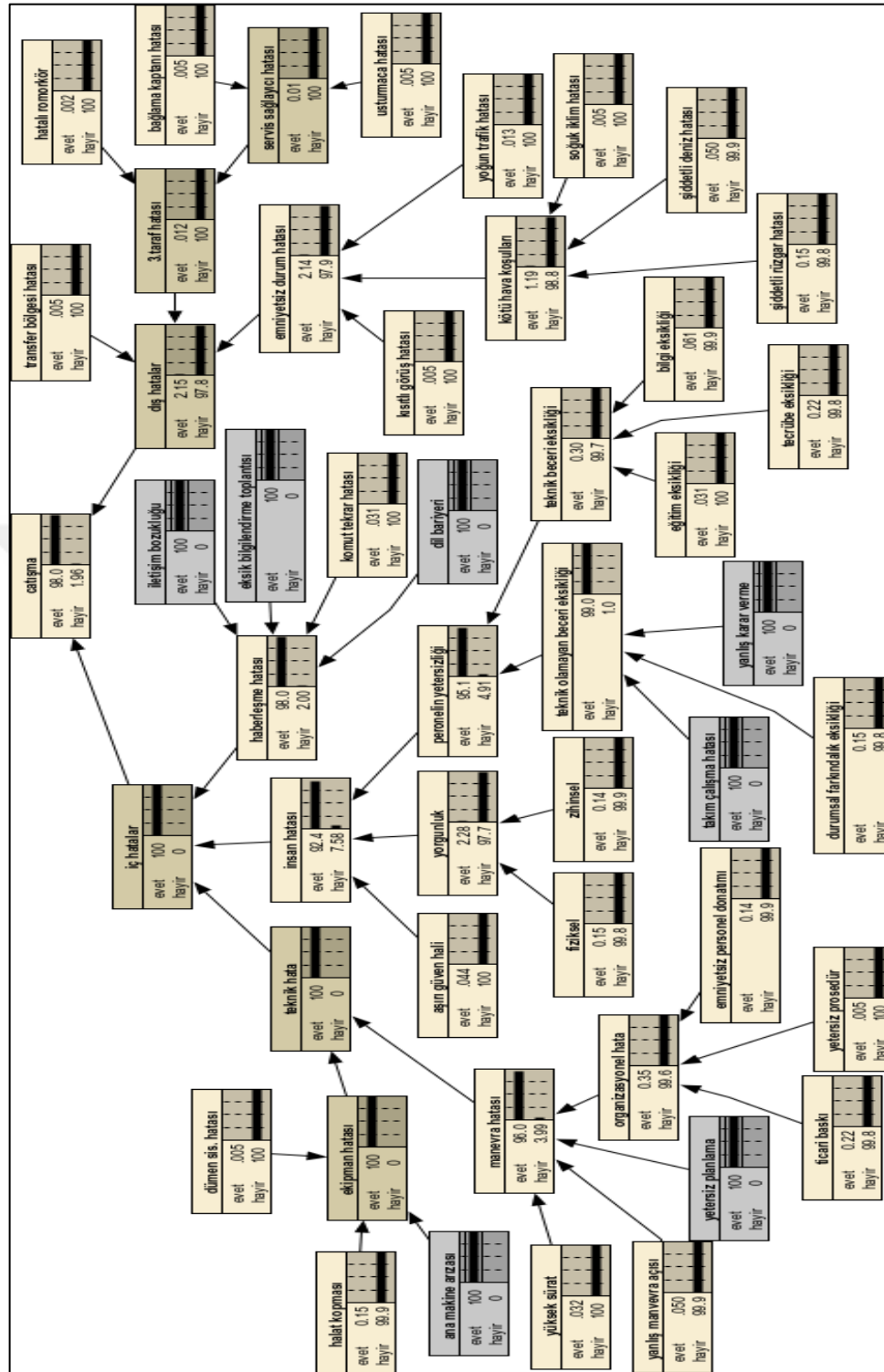
10 Ağustos 2009 tarihinde İngiltere’nin Southwood limanı açıklarında seyir halinde gemiden gemiye tanker transfer operasyonu gerçekleştiren M/T SAETTA ve M/T CONGER isimli gemilerin ayrılma manevrası sırasında gemiler arasında temas yani çatışma olayı yaşanmıştır. Kaza sırasında SAETTA isimli geminin sancak filika ve donanımlarında hasar meydana gelmiştir. Herhangi bir yaralanma veya deniz kirliliği yaşanmamış olması büyük bir şans olarak görülmektedir. Kazaya sebebiyet veren ana faktör CONGER isimli geminin ana makinesinin ayrılma manevrası esnasında çalışmaması olmak ile birlikte diğer değişkenler ise sırasıyla; iletişim bozukluğu, dil bariyeri, takım çalışması hatası, yanlış karar verme, yetersiz planlama ve eksik bilgilendirme toplantısıdır.

3.4.8.2 Analiz Sonucu

Şekil 3.6’da daha önce gösterildiği üzere, seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarında çatışma kazası için bayes ağ yapısı içerisine herhangi bir kanıt girilmeden, önsel olasılık değerlerinin güncellenmiş hali ile hesaplanan risk değeri %10,4’tür. SAETTA ve CONGER gemilerinin çatışmasına yol açan değişkenler olan ana makine arızası, iletişim bozukluğu, dil bariyeri, takım çalışması

hatası, yanlış karar verme, yetersiz planlama ve eksik bilgilendirme toplantısı düğümlerinin durumu ağ yapısı üzerinde “evet” yani %100 olarak kanıt girildiği durumda, ağ yapısında tepe olay olan çatışma olayının gerçekleşme olasılığının %98’e ulaştığı görülmektedir ki bu durumda da çatışma kazası kaçınılmaz olmaktadır. Girilmiş olan bu kanıtlara göre güncellenmiş olan bayes ağ yapısı Şekil 3.8’de görülmektedir.





BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Seyir halinde yapılan gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevralarında çatışma kazaları risk değerlendirmesi için bayes ağ modelinin duyarlılık analizi özelliği kullanılarak elde edilmiş olan çıkarımlarla, çatışma kazasının yaşanmaması için dikkat edilmesi gereken emniyet tedbirleri bu bölümde incelenmiştir.

Geriye dönük analiz yönteminin çıktılarından birisi “halatı kopması” düğümünün “çatışma” kazasının yaşanmasında hassas yani etkisinin yüksek olduğu yönündedir. Yanaşma manevrası esnasında bağlama halatlarından bir veya birkaçının kopması durumunda gemiler arasında temas, çatışma durumunun yaşanmaması adına manevra sahasında bulunan gemi zabıtlarının dikkatli olmaları gerekmektedir. İrgatların kastanyola tutma ayarlarının iyi yapılmış olması, halatın kopma kuvvetinden önce ırgat kastanyolasının halata boş koyması ile halat kopması engellenmiş olacaktır. Gemiler arasında halat gönderme ve alma işlemlerinin her iki gemi zabıtları arasında uygun haberleşme tesis edilerek, kontrollü ve senkronize bir şekilde gerçekleştiriliyor olması yine halat kopma durumlarının yaşanmaması için önemli tedbirlerden birisi olacaktır.

Önsel ve sonsal olasılıklar arasındaki değişim yüzdeleri incelendiğinde, “çatışma” kazası üzerinde hassas olan diğer değişkenlerin “ana makine arızası” ve “dümen sistemi hatası” oldukları görülmüştür. Seyir halinde gerçekleştirilen yanaşma manevralarında her iki gemi de hareketli olacağı için birbirlerine göre rota ve sürat ayarlamalarını yapabilmeleri sürekli olarak gemi ana makinesi ve dümen sistemi kullanımı ile mümkün olacaktır. Bu sebeple gemi ana ve yardımcı makinelerinin STS manevraları öncelerinde tornistan ve acil durdurma sistemleri dahil olmak üzere kontrolleri yapılmış olmalıdır. Dümen sistemi hem uzaktan hem de dümen dairesinde el ile acil dümen kontrol sistemi olmak üzere kontrol edilmelidir. Köprüüstü kırlangıçlarında bulunan ana makine ve dümen pozisyonunu gösteren göstergeler iyi durumda ve gece manevraları için aydınlatmaları çalışır durumda olmalıdır.

STS manevralarına başlamadan önce her iki gemi operasyon planı hakkında görüşerek, takip edilecek rota ve sürat bilgileri, kullanılacak olan haberleşme sistemleri, bağlama planları ve acil durum planlamaları hakkında mutabakata varmalıdır. Yine bu görüşmede gemilerine ait manevra özellikleri, kritik ana makine devirleri ve tekabül eden sürat değerleri gibi bilgiler de gemiler arasında paylaşılmalıdır. Operasyon öncesinde her iki gemi köprüüstü takım üyeleri toplanarak operasyon aşamalarını gözden geçirmelidirler. Eğer bağlama kaptanı var ise bağlama kaptanı da bu toplantının bir parçası olmalı ve planlanan operasyon aşamaları görüşülmelidir.

Yapılan bayes ağı yorumlamalarında “iletişim bozukluğu” değişkeninin de “çatışma” olayı üzerinde etkisinin yüksek olduğunu görmüştük. Yanaşma manevraları esnasında iletişim bozukluğu yaşanmaması adına operasyon öncesinde yapılacak olan toplantıda gemiler arasında kullanılacak olan lisan ve haberleşmenin sağlanacağı birincil ve yedek haberleşme kanalları belirlenmiş olmalıdır. Bu haberleşme sistemleri manevra başlangıcında test edilmelidir. Ayrıca her iki gemi yine kendi içerisinde, köprüüstü ve makine dairesi ile baş, kış ve manifold bölgesi manevra sahalarında bulunan sorumlu gemi personeli arasında emniyetli haberleşmenin tesis edildiğinden emin olmalıdır. STS operasyonuna başlamadan önce etrafta bulunan gemilerin uyarılması adına VHF üzerinden umuma seyir uyarısı yayınlanmalıdır. “Komut tekrar hatası” kaynaklı risklerin oluşmaması adına, iletilen komutların tekrar edilerek doğrulanmasına dikkat edilmelidir. Verilmiş olan makine ve dümen komutları sorumlu zabıt tarafından kontrol edilerek doğru komutun uygulandığından emin olunmalıdır.

Yapılan duyarlılık analizlerinde, yanaşma manevralarında organizasyonel hataların yaşanmasında “ticari baskı” değişkeninin etkisinin yüksek olduğunu görmüştük. Organizasyonel hataların yaşanmaması adına gemi kaptanları ve bağlama kaptanları, operasyon ile ilgili üzerlerinde ticari baskı hissetmemelidirler. Operasyonun emniyetli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gemi kaptanlarının nihai olarak operasyona başlama, durdurma veya iptal etme yetkilerinin olduğu gemi donatan, işleten ve kiracı firmaları tarafından unutulmamalıdır.

Yetersiz prosedürler kaynaklı risklerin oluşmaması adına, gemi işletme firmaları gemilerinde kurallara uygun olarak hazırlanmış gemiden gemiye tanker transfer operasyonları ile ilgili yeterli prosedürlerin bulunduğundan emin olmalıdırlar.

Çatışma kazalarına sebebiyet verecek “insan hatası” kaynaklı faktörlerin azaltılabilmesi adına gemilerin emniyet personel donatımına dikkat edilmelidir. STS operasyonları normal liman operasyonlarından farklı olarak daha fazla risk barındırmakta olup yeterli eğitim, bilgi ve tecrübeye sahip personelin gemide bulundurulması önemlidir. Ayrıca hem liman vardiyası hem de seyir vardiyası koşullarında çalışıldığı için gemideki personel sayısının dinlenme periyotlarına uyum sağlayabilecek şekilde yeterli seviyede olması da durumsal farkındalık ve yorgunluk kaynaklı risklerin oluşmasını önleme adına önemlidir.

Manevralar sırasında emniyetsiz durumlar ile karşılaşmamak adına transfer bölgesine ait hava raporları sürekli takip edilmelidir. Rüzgâr ve deniz durumlarına göre gemilerin rota ve sürat ayarlamaları uygun şekilde yapılmalıdır. STS transfer bölgeleri her ne kadar özel transfer bölgeleri olarak markalanmış olsa da ufak tekne veya balıkçı gibi botların varlığına karşı uyanık olunmalı ve iyi bir gözcülük yapılmalıdır.

4.1 Çalışmanın Akademik ve Uygulamaya Yönelik Katkıları

Gemiden gemiye tanker transfer operasyonlarının yakın geçmişi ve buna bağlı olarak yeterli ve güvenilir verinin her zaman bulunamıyor olması gibi faktörler göz önüne alındığında, yapılmış olan akademik araştırmaların ancak son yıllarda ve operasyonun genel perspektiflerine göre yapılmış oldukları görülmektedir. Bu çalışmada STS operasyonlarının en riskli safhası olarak görülen her iki geminin de seyir halinde olduğu yanaşma manevralarının risk analizi bayes ağ modeli oluşturularak yapılmış ve yazına bu anlamda katkıda bulunulmuştur.

Çalışmanın uygulamaya olan katkılarından birincisi; tanker işleten denizcilik firmaları için son yıllarda yoğunluğu artan bir operasyon haline gelen STS operasyonu

manevraları için risk faktörlerinin belirlenerek önem sıralamalarının yapılmış olmasıdır. Böylece denizcilik firmaları STS manevralarında yaşanabilecek çatma, çatışma kazalarının risk değerlendirmelerini yaparak, istenmeyen olayları en aza indirgemiş olabilirler. İkinci katkı olarak ise gemi kaptanı, zabıt ve diğer gemi personelinin karşılaşacakları STS operasyonlarında bir kaynak olarak başvurabileceği, operasyon ile ilgili risk değerlendirmelerinde ağ yapısındaki değişkenleri ve önem derecelerini dikkate alarak faydalanabilecekleri bir çalışma olmasıdır.

4.2 Araştırmanın Kısıtları

STS operasyonlarının yakın geçmişi kaynaklı akademik anlamda yayınlanmış olan çalışmaların yeterli sayıda olmaması ve çoğunluğunun STS operasyonlarını genel perspektifleri ile incelemiş olmaları sebebiyle, seyir halinde yapılan STS tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevraları gibi operasyon içerisindeki riskli bir bölüm özelinde yayınlanmış olan çok fazla literatür ve kaza raporu elde edilememiş olması araştırmanın en önemli kısıtıdır.

Yeterli literatür ve veri bulunmaması sebebiyle, verilerin toplanması aşamasında uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Uzman seçimi ve görüşmelerinde, her ne kadar hassas davranılarak özen gösterilmiş olsa da insan hatası faktörünün olasılıkların belirlenmesi aşamasında ortaya çıkabilme ihtimali bulunmaktadır.

Uzman olarak görüşlerine başvurulmuş gemi kaptanları farklı tonajdaki gemiler ile farklı bölgelerde transfer operasyonlarında görev almış olsa da, uzmanların tamamının Türk gemi kaptanı olması çalışmanın başka bir kısıtıdır. Bu noktada uzmanların farklı kültürlerden seçiliyor olması değişkenlerinde daha farklı boyutlarda incelenmesini sağlayabilirdi.

Bayes ağ yapısının doğrulanması sürecinin STS operasyonu yapacak olan bir gemi üzerinde, risk değerlendirmesi sırasında gemi personelinin de katılımı ile beraber yapılıyor olması ve operasyon sonrasında sonuçlarının alınması; ağ yapısındaki hataların belirlenmesi ve güncellenmesi için bir fırsat ortaya koyabilirdi. Fakat

Çalışmanın hazırlandığı dönemde STS operasyonu yapacak olan bir gemi üzerinde bulunulmadığı ve bu çalışmada kullanılmış olan NETICA yazılım programının gemilerde bulunmuyor olmasından dolayı bu tür bir uygulama gerçekleştirilememiştir.

4.3 Gelecek alışmalar İçin Öneriler

Oluşturulan bayes ağ yapısının STS tanker transfer operasyonu yapacak olan bir gemi üzerinde birebir uygulanması ve sonuçlarının alınması ağ yapısının doğruluğunun ölçülmesi açısından önemlidir. Ayrıca bu ağ yapısının denizcilik firmaları ve internet erişimi olan gemiler için çevrim içi versiyonunun geliştirilerek uygulanması ile gemiden gemiye tanker transfer operasyonları yanaşma manevraları için risk değerlendirmeleri dinamik bir şekilde gerçekleştirilebilir.

STS operasyonlarının en riskli safhası olarak görülmesi açısından, çalışmada seyir halinde yapılan tanker transfer operasyonlarının yanaşma manevraları çatışma kazalarının risk analizi için bayes ağ modeli geliştirilmiştir. Günümüzde artan STS operasyon sıklığı ve bir geminin limana bağlı olup diğer geminin bağlı gemi üzerine yanaştığı şeklinde yapılan farklı transfer tekniklerinin sıklıkla yapılmaya başlanmasıyla birlikte, benzer modeller operasyonun kargo transfer süreci gibi farklı safhaları için de geliştirilebilir. Aynı şekilde belirli bir liman veya transfer bölgesinde gerçekleştirilen STS operasyonları için spesifik bir ağ modeli de geliştirilebilir ve dinamik bir risk analizinin yapılması sağlanabilir.

İleriki dönemde STS operasyonları ile ilgili yeterli kaza raporu yani veriye ulaşılabilir olması durumunda, bayes ağ yapısının ve koşullu olasılık tablolarının bir veri setinden faydalanılarak oluşturulması gerçekleştirilebilir ve bu iki çalışmanın çıktıları karşılaştırılabilir. Böylelikle bu çalışmada verilerin elde edilmesi sürecinde başvurulmuş olan uzman görüşü sebebiyle yaşanabilecek olan insan hatalarının önüne geçilmiş olunur.

Gelecek dönemde sadece Türk gemi kaptanlarının değil, aynı zaman yabancı gemi kaptanları ile birlikte bağlama kaptanlarının da uzman olarak dahil edildiği daha geniş

ölçekli bir örneklem ile bulgular tekrar değerlendirilerek, mevcut çalışma ile çıktıları karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Abaei, M. M., Abbassi, R., Garaniya, V., Chai, S. ve Khan, F. (2018). Reliability assessment of marine floating structures using bayesian network. *Applied Ocean Research*, 76, 51-60.
- Abramowicz-Gerigk, T., Hejmlich, A. ve Wilczyński, P. (2018). Human and operational factors in the risk assessment of ship-to-ship operations. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 73-77.
- Afenyo, M., Khan, F., Veitch, B. ve Yang, M. (2017). Arctic shipping accident scenario analysis using bayesian network approach. *Ocean Engineering*, 133, 224-230.
- Akar, M. ve Gündoğdu, S. (2013). A comparison of weighted least square estimation and ordinary least square estimation for analysing weight-length relationship of Por's Goatfish (*Upeneus pori* Ben-Tuvia ve Golani, 1989) in Iskenderun bay. *Journal of Applied Biological Sciences*, 7(3), 46-50.
- Akhtar, M. J. ve Utne, I. B. (2014). Human fatigue's effect on the risk of maritime groundings—A bayesian network modeling approach. *Safety Science*, 62, 427-440.
- Antão, P. ve Soares, C. G. (2006). Fault-tree models of accident scenarios of RoPax vessels. *International Journal of Automation and Computing*, 3(2), 107-116.
- Antão, P. ve Soares, C. G. (2019). Analysis of the influence of human errors on the occurrence of coastal ship accidents in different wave conditions using bayesian belief networks. *Accident Analysis & Prevention*, 133, 105262.
- Arici, S. S., Akyuz, E. ve Arslan, O. (2020). Application of fuzzy bow-tie risk analysis to maritime transportation: The case of ship collision during the STS operation. *Ocean Engineering*, 217, 107960.

- Arslan, Ö., Zorba, Y. ve Svetak, J. (2018). Fault tree analysis of tanker accidents during loading and unloading operations at the tanker terminals. *Journal of Eta Maritime Science*, 6(1), 3-16.
- Arzaghi, E., Abaei, M. M., Abbassi, R., Garaniya, V., Binns, J., Chin, C. ve Khan, F. (2018). A hierarchical bayesian approach to modelling fate and transport of oil released from subsea pipelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 307-315.
- Atehnjia, D. N., Zaili, Y. ve Wang, J. (2018). Application of fault tree-bayesian network for graving dock gate failure analysis. *Journal Impact Factor*, 3, 28.
- Awal, Z. I. ve Hasegawa, K. (2017). A study on accident theories and application to maritime accidents. *Procedia Engineering*, 194, 298-306.
- Babicz, J. (2015). *Wartsila encyclopedia of ship technology* (2.Baskı). Stora Enso Oyj: Wartsila Corporation.
- Badida, P., Balasubramaniam, Y. ve Jayaprakash, J. (2019). Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 66, 284-292.
- Baksh, A. A., Abbassi, R., Garaniya, V. ve Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using bayesian network: Application to Arctic waters. *Ocean Engineering*, 159, 422-436.
- Ben-Gal, I. (2008). *Encyclopedia of statistics in quality and reliability* (1.Baskı). New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

- Berg, T. E. (2007). Ship-to-ship operations in cold climate environments. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 1(3), 327-332.
- Bobbio, A., Portinale, L., Minichino, M. ve Ciancamerla, E. (2001). Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into bayesian networks. *Reliability Engineering & System Safety*, 71(3), 249-260.
- Bouejla, A., Chaze, X., Guarnieri, F. ve Napoli, A. (2014). A bayesian network to manage risks of maritime piracy against offshore oil fields. *Safety Science*, 68, 222-230.
- Branch, M. A. I. (2010). *Report on the investigation of the collision between MT Saetta and MT Conger on completion of a ship to ship transfer 9.5 miles south east of Southwold*. 01 Temmuz 2020, <https://www.gov.uk/maib-reports/collision-between-oil-tankers-saetta-and-conger-on-completion-of-a-ship-to-ship-transfer-off-southwold-england>.
- Budiyanto, M. A. ve Fernanda, H. (2020). Risk assessment of work accident in container terminals using the fault tree analysis method. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6), 466.
- Cai, B., Liu, Y., Zhang, Y., Fan, Q., Liu, Z. ve Tian, X. (2013). A dynamic bayesian networks modeling of human factors on offshore blowouts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(4), 639-649.
- Castelletti, A. ve Soncini-Sessa, R. (2007). Bayesian networks and participatory modelling in water resource management. *Environmental Modelling & Software*, 22(8), 1075-1088.
- Celik, M., Lavasani, S. M. ve Wang, J. (2010). A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation. *Safety Science*, 48(1), 18-27.

- Chang, Y., Chen, G., Wu, X., Ye, J., Chen, B. ve Xu, L. (2018). Failure probability analysis for emergency disconnect of deepwater drilling riser using bayesian network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 51, 42-53.
- Chemical Distribution Institute, International Chamber of Shipping, Oil Companies International Marine Forum, Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (2013). *Ship to ship transfer guide for petroleum, chemicals and liquefied gases (STS Guide)* (1.Baskı). Edinburgh: Witherby Seamanship International.
- Chen, P., Mou, J. ve Li, Y. (2015). Risk analysis of maritime accidents in an estuary: a case study of Shenzhen waters. *Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie*, 42 (114), 54-62.
- Chen, S. J. ve Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, 289-486.
- Clemen, R. T. ve Winkler, R. L. (1999). Combining probability distributions from experts in risk analysis. *Risk Analysis*, 19(2), 187-203.
- Cooke, R. (1991). *Experts in uncertainty: opinion and subjective probability in science* (1.Baskı). Oxford: Oxford University Press on Demand.
- Coupé, V. M., Van Der Gaag, L. C. ve Habbema, J. D. F. (1999). Sensitivity analysis: an aid for belief-network quantification. *Utrecht University: Information and Computing Sciences*, 1-25.
- Cusiter, J., Carpenter, D., Spaarman, R., Stephens, A., Bowring, S., Otten, E. ve Meek, H. (2006). *U.S. Patent Application No. 11/268,383*.
- Çinicioğlu, E. N., Atalay, M., ve Yorulmaz, H. (2013). Trafik kazaları analizi için bayes ağları modeli. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 6(2), 41-52.

Çinicioğlu, E. N., Önsel Ekici, Ş. ve Ülengin, F. (2015). Bayes ağ yapısının oluşturulmasında farklı yaklaşımlar: Nedensel bayes ağları ve veriden ağ öğrenme. *Sn. Prof. Dr. Halil Sariaslan'a armağan kitabı* (1.Baskı) içinde (267-284). Ankara: Siyasal Kitabevi.

Dan Pilot (2020). *Pilotage preplanning guide Part 3- Ship to Ship Operations*. 09 Temmuz 2020, https://danpilot.dk/media/1270/danpilot_partiii_ship_to_ship.pdf.

Decker, B. (2006). *Ship-ship interaction during lightering operations*. Doktora Tezi, NTNU, Trondheim Norway.

Dijkman, J. G., Van Haeringen, H. ve De Lange, S. J. (1983). Fuzzy numbers. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 92(2), 301-341.

Druzdzel, M. J. ve Van Der Gaag, L. C. (2013). Elicitation of probabilities for belief networks: Combining qualitative and quantitative information. *arXiv preprint arXiv:1302.4943*, 141-148.

Ekici, O. (2005). *Bayesyen regresyon ve WinBUGS ile bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Eleye-Datubo, A. G., Wall, A., Saajedi, A. ve Wang, J. (2006). Enabling a powerful marine and offshore decision-support solution through bayesian network technique. *Risk Analysis*, 26(3), 695-721.

Erdoğan, A. (2015). Hata ağacı analizi, literatür araştırması ve orta ölçekli bir işletmede uygulama. *Calisma Dünyasi Dergisi*, 3(1), 106-122.

Etki Liman (2020). *STS operasyon fotoğrafı*. 10 Ağustos 2020, <http://www.etkiliman.com.tr/>.

- Gavai, A. K. (2009). *Bayesian networks for omics data analysis* (1.Baskı). Netherlands: With Summaries.
- Genel Denizcilik Nakliyatı AS (2013). *Ship to ship operations plan* (1.Baskı). Elektronik kopya: Genel Denizcilik Nakliyatı AS.
- Glykas, A. ve Perissakis, S. (2011). A risk assessment methodology as a tool for screening of ship to ship (STS) transfer operation. In *European Conference on Shipping Intermodalism & Ports, ECONSHIP*, 1-14.
- Goteborg Hamn (2010). *Ship to ship transfers port of Gothenburg*. 15 Mart 2020, <https://www.goteborgshamn.se/sok/?q=ship+to+ship>.
- Guan, Y., Zhao, J., Shi, T. ve Zhu, P. (2016). Fault tree analysis of fire and explosion accidents for dual fuel (diesel/natural gas) ship engine rooms. *Journal of Marine Science and Application*, 15(3), 331-335.
- Hänninen, M. (2014). Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: benefits and challenges. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 305-312.
- Hänninen, M. ve Kujala, P. (2012). Influences of variables on ship collision probability in a bayesian belief network model. *Reliability Engineering & System Safety*, 102, 27-40.
- Hänninen, M. ve Kujala, P. (2014). Bayesian network modeling of port state control inspection findings and ship accident involvement. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1632-1646.
- Heckerman, D. (1996). *A tutorial on learning with bayesian networks* (1.Baskı). Redmond WA: Microsoft Research Advanced Technology Division.

- Hsu, H. M. ve Chen, C. T. (1996). Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 79(3), 279-285.
- Huang, D., Chen, T. ve Wang, M. J. J. (2001). A fuzzy set approach for event tree analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1), 153-165.
- Husjord, D. (2016). Development of a decision support system in ship-to-ship lightering. *The Journal of Navigation*, 69(5), 1154-1182.
- Husjord, D. ve Pedersen, E. (2010). On guidance and decision-support displays in ship-to-ship lightering operations. *IEEE SMC eNewsletter*, 31. 19 Mart 2020, https://www.ieeesmc.org/newsletters/back/2010_06/main_article3.html.
- Ibrahim, H. ve Rao, P. (2019). Fire risk analysis in FLNG processing facility using bayesian network. *JESTEC*, 14(3), 1497-1519.
- IMO (2009). *Amendments to the annex of the protocol of 1978 relating to the international convention for the prevention of pollution from ships*. 10 Mart 2020, <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Pages/MEPC-2008-09.aspx>.
- Jager, R. (1995). *Fuzzy logic in control* (1.Baskı). Netherlands: With Summaries.
- Jensen, F. V. ve Nielsen, T. D. (2007). *Bayesian networks and decision graphs* (2.Baskı). Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Jiang, M. ve Lu, J. (2020). Maritime accident risk estimation for sea lanes based on a dynamic bayesian network. *Maritime Policy & Management*, 1-16.
- Jiang, M., Lu, J., Yang, Z. ve Li, J. (2020). Risk analysis of maritime accidents along the main route of the Maritime Silk Road: a Bayesian network approach. *Maritime Policy & Management*, 1-18.

- Jones, B., Jenkinson, I., Yang, Z. ve Wang, J. (2010). The use of bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(3), 267-277.
- Kabir, S. ve Papadopoulos, Y. (2018). A review of applications of fuzzy sets to safety and reliability engineering. *International Journal of Approximate Reasoning*, 100, 29-55.
- Kabir, S., Taleb-Berrouane, M. ve Papadopoulos, Y. (2019). Dynamic reliability assessment of flare systems by combining fault tree analysis and bayesian networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-18.
- Kaftan, İ., Balkan, E. ve Müjgan, Ş. A. L. K. (2013). Bulanık mantık (fuzzy logic) ve jeofizikte kullanım alanları: Sismoloji örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15(43), 15-29.
- Kang, J., Sun, L. ve Soares, C. G. (2019). Fault tree analysis of floating offshore wind turbines. *Renewable Energy*, 133, 1455-1467.
- Karimi, R., Rasmussen, N. ve Wolf, L. (1980). *Qualitative and quantitative reliability analysis of safety systems* (1.Baskı). Cambridge: Energy Lab.
- Kelangath, S., Das, P. K., Quigley, J. ve Hirdaris, S. E. (2011). Risk analysis of damaged ships—a data-driven bayesian approach. *Ships and Offshore Structures*, 7(3), 333-347.
- Khakzad, N., Khan, F. ve Amyotte, P. (2013). Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and bayesian network approaches. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(8), 925-932.

- Kılınç, M. S. (2008). *İnternet sitesi tasarımında bulanık kalite fonksiyonu yayılımının uygulanması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Klir, G. ve Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (4.Baskı). New Jersey: Prentice hall.
- Knežević, V., Orović, J., Stazić, L. ve Čulin, J. (2020). Fault tree analysis and failure diagnosis of marine diesel engine turbocharger system. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(12), 1004, 1-19.
- Konovessis, D., Cai, W. ve Vassalos, D. (2013). Development of bayesian network models for risk-based ship design. *Journal of Marine Science and Application*, 12(2), 140-151.
- Korb, K. B. ve Nicholson, A. E. (2004). *Bayesian artificial intelligence* (1.Baskı). Londra: CRC press.
- Kuzu, A. C., Akyuz, E. ve Arslan, O. (2019). Application of fuzzy fault tree analysis (FFTA) to maritime industry: a risk analysing of ship mooring operation. *Ocean Engineering*, 179, 128-134.
- Lambert, H. E. (1975). *Fault trees for decision making in systems analysis* (1.Baskı). California: Lawrence Livermore National Lab.
- Laskey, K. B. ve Mahoney, S. M. (1997). Network fragments: Representing knowledge for construction probabilistic models. *Thirteenth Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 334-341.
- Laskowski, R. (2015). Fault tree analysis as a tool for modelling the marine main engine reliability structure. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 71-77.

- Lataire, E., Vantorre, M. ve Delefortrie, G. (2009). Captive model testing for ship to ship operations. In *International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM'09)*, 1-10.
- Lataire, E., Vantorre, M., Vandenbroucke, J. ve Eloot, K. (2011). Ship to ship interaction forces during lightering operations. In *2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to ship interaction*, 211-222.
- Lavasani, S. M., Zendegani, A. ve Celik, M. (2015). An extension to fuzzy fault tree analysis (FFTA) application in petrochemical process industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 93, 75-88.
- Lehikoinen, A., Hänninen, M., Storgård, J., Luoma, E., Mäntyniemi, S. ve Kuikka, S. (2015). A bayesian network for assessing the collision induced risk of an oil accident in the Gulf of Finland. *Environmental Science & Technology*, 49(9), 5301-5309.
- Li, K. X., Yin, J., Bang, H. S., Yang, Z. ve Wang, J. (2012). Bayesian network with quantitative input for maritime risk analysis. *Transportmetrica A: Transport Science*, 10(2), 89-118.
- Li, X., Chen, G. ve Zhu, H. (2016). Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 163-173.
- Li, X., Chen, G., Jiang, S., He, R., Xu, C. ve Zhu, H. (2018). Developing a dynamic model for risk analysis under uncertainty: case of third-party damage on subsea pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, 289-302.

- Likun W., Zaili Y. (2018). Bayesian network modelling and analysis of accident severity in waterborne transportation: A case study in China. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 277-289.
- Ma, D., Zhou, Z., Jiang, Y. ve Ding, W. (2014). Constructing bayesian network by integrating fmea with fta. *Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control*, 696-700.
- Malika, M., Khochmane, L., Bouzaouit, A. ve Bennis, O. (2017). Transformation of fault tree into bayesian network methodology for fault diagnosis. *Mechanics*, 891-899.
- Martins, M. R. ve Maturana, M. C. (2013). Application of bayesian belief networks to the human reliability analysis of an oil tanker operation focusing on collision accidents. *Reliability Engineering & System Safety*, 110, 89-109.
- Meng, X., Chen, G., Zhu, G. ve Zhu, Y. (2019). Dynamic quantitative risk assessment of accidents induced by leakage on offshore platforms using DEMATEL-BN. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 11(1), 22-32.
- Mentes, A. ve Helvacioğlu, I. H. (2011). An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems. *Ocean Engineering*, 38(2-3), 285-294.
- Miri, L. M., Wang, J., Yang, Z. ve Finlay, J. (2011). Application of fuzzy fault tree analysis on oil and gas offshore pipelines. *International Journal of Marine Science and Engineering*, 1, 29-42.
- Northern Marine (2014). *STS operations plan (Non Annex I) Navigator Phoenix* (1.Baskı). Elektronik kopya: Northern Marine.

- Ogunsanya, O. V. (2012). *Decision support using bayesian networks for clinical decision making*. Doktora Tezi, Queen Mary University of London, Londra.
- Onisawa, T. (1988). An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 27(2), 87-103.
- Online STS (2020). *OSIS Database*. 11 Kasım 2020, <https://site.onlinests.net/en/osis-database>.
- Orkney Islands Council Harbour Authority (2020). *Ship-to-Ship transfers*. 9 Mart 2020, www.orkneyharbours.com.
- Pedersen, E., Shimizu, E. ve Berg, T. E. (2008). On the development of guidance system design for ships operating in close proximity. In *2008 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*, 966-971.
- Preyssl, C. (1995). Safety risk assessment and management—the ESA approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 49(3), 303-309.
- Qu, X., Meng, Q. ve Li, S. (2012). Analyses and implications of accidents in Singapore Strait. *Transportation Research Record*, 2273(1), 106-111.
- Quraishi, E. A. (2019). *Risk analysis of marine accident in inland waterways of Bangladesh using fault tree analysis method*. Yüksek Lisans Tezi, Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET), Bangladeş.
- Ren, D., Zeng, H., Wang, X., Pang, S. ve Wang, J. (2020, April). Fault diagnosis of diesel engine lubrication system based on bayesian network. In *2020 6th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, IEEE, 423-429.

- Ren, J., Wang, J., Jenkinson, I., Xu, D. L. ve Yang, J. B. (2007). A bayesian network approach for offshore risk analysis through linguistic variables. *China Ocean Engineering*, 21(3), 371.
- Renooij, S. (2001). Probability elicitation for belief networks: issues to consider. *The Knowledge Engineering Review*, 16(3), 255.
- Rohmer, J. (2020). Uncertainties in conditional probability tables of discrete bayesian belief networks: A comprehensive review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 88, 103384.
- Ruijters, E. ve Stoelinga, M. (2015). Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer Science Review*, 15, 29-62.
- Sano, M. ve Yasukawa, H. (2019). Simulation study of approach manoeuvre in lightering and reverse lightering operations. *Ocean Engineering*, 187, 106185.
- Senol, Y. E., Aydogdu, Y. V., Sahin, B. ve Kilic, I. (2015). Fault tree analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 42(12), 5232-5244.
- Shan, X., Liu, K. ve Sun, P. L. (2017). Risk analysis on leakage failure of natural gas pipelines by fuzzy bayesian network with a bow-tie model. *Scientific Programming*, 1-11.
- Shimizu, E., Pedersen, E. ve Takano, Y. (2010). Field observation on actual lightering operations. *OCEANS'10 IEEE SYDNEY*, 1-4.
- Skejic, R. ve Faltinsen, O. M. (2007). A unified seakeeping and maneuvering analysis of two interacting ships. *Proceedings of the 2nd International Conference on Marine Research and Transportation*, 209-218.

- Souza, C. E. S. D. ve Morishita, H. M. (2011). Dynamic modeling of underway ship-to-ship operations. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 44335, 191-200.
- Stamatelatos, M., Vesely, W., Dugan, J., Fragola, J., Minarick, J. ve Railsback, J. (2002). Fault tree handbook with aerospace applications. *NASA Office of Safety and Mission Assurance*, 1-218.
- Stavrou, D. I. ve Ventikos, N. P. (2016). A novel approach in risk evaluation for ship-to-ship (STS) transfer of cargo using process failure mode and effects analysis (PFMEA). *Journal of Risk Research*, 19(7), 913-933.
- Sultana, S., Okoh, P., Haugen, S. ve 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.
- Sunaryo ve Hamka, M. A. (2017). Safety risks assessment on container terminal using hazard identification and risk assessment and fault tree analysis methods. *Procedia Engineering*, 194, 307-314.
- Tanaka, H., Fan, L. T., Lai, F. S. ve Toguchi, K. (1983). Fault-tree analysis by fuzzy probability. *IEEE Transactions on Reliability*, 32(5), 453-457.
- Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F. ve Grande, O. (2008). A bayesian belief network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(6), 845-856.
- Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U. ve Yüksekıldız, E. (2015). Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method. *Maritime Policy & Management*, 42(2), 163-185.

- Üney, İ. (2017). *Modern ve klasik optimizasyon yöntemlerinin Entomolojide yeni bir uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Ünver, B., Gürgen, S., Sahin, B. ve Altın, İ. (2019). Crankcase explosion for two-stroke marine diesel engine by using fault tree analysis method in fuzzy environment. *Engineering Failure Analysis*, 97, 288-299.
- Vairo, T., Milazzo, M. F., Bragatto, P. ve Fabiano, B. (2019). A dynamic approach to fault tree analysis based on bayesian beliefs networks. *Chemical Engineering*, 75, 829-834.
- Van der Gaag, L. C., Renooij, S., Witteman, C. L. M. ve Aleman, B. M. P. (1999). How to elicit many probabilities. *Fifteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 647-654.
- Van Leekwijck, W. ve Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*, 108(2), 159-178.
- Van Ta, T., Vu, N. H., Triet, M. A., Thien, D. M. ve Cang, V. T. (2017). Assesment of marine propulsion system reliability based on fault tree analysis. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 2(4), 55.
- Ventikos, N. P. ve Stavrou, D. I. (2013). Ship to ship (STS) transfer of cargo: Latest developments and operational risk assessment. *SPOUDAI-Journal of Economics and Business*, 63(3-4), 172-180.
- Vesely W. E., Goldberg F. F., Roberts N. H. ve Haasl, D. F. (1981). *Fault tree handbook* (1.Baskı). Washington: Nuclear Regulatory Commission.
- Waghmode, L. Y. ve Patil, R. B. (2013). An overview of fault tree analysis (FTA) method for reliability Analysis. *Journal of Engineering Research and Studies*, 4, 6-8.

- Witkowska, A., Śmierzchalski, R. ve Wilczyński, P. (2017). Trajectory planning for service ship during emergency STS transfer operation. *Polish Control Conference*, 514-523.
- Xiang, X., Skejic, R., Faltinsen, O. M. ve Berg, T. E. (2011). Hydrodynamic interaction loads between two ships during lightering operation in calm water. *2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction*, 383-392.
- Yanfu W., Min X. (2012). Approach to integrate fuzzy fault tree with bayesian network. *Procedia Engineering*, 131-138.
- Yang, Y. ve Sørensen, J. D. (2020). Probabilistic availability analysis for marine energy transfer subsystem using bayesian network. *Energies*, 13(19), 5108.
- Yazdi, M. ve Kabir, S. (2017). A fuzzy bayesian network approach for risk analysis in process industries. *Process Safety and Environmental Protection*, 507-519.
- Yu, H., Khan, F. ve Veitch, B. (2017). A flexible hierarchical bayesian modeling technique for risk analysis of major accidents. *Risk Analysis*, 37(9), 1668-1682.
- Yuan, C., Cui, H., Tao, B. ve Ma, S. (2018). Cause factors in emergency process of fire accident for oil–gas storage and transportation based on fault tree analysis and modified bayesian network model. *Energy & Environment*, 29(5), 802-821.
- Yuan, C., Cui, H., Tao, B. ve Wang, W. (2018). Fault tree analysis for emergency process of fire accident in oil-gas storage and transportation. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 22(3), 04018011.
- Yücebaş, S. C. (2006). *Hipokrat-I: Bayes ağı tabanlı tıbbi teşhis destek sistemi*. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.

Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy Sets*, 8(3), 338-353.

Zaloğlu, M. (1988). *Gemici Dili* (1.Baskı). İstanbul: Türk Deniz Kuvvetleri Güçlendirme Vakfı Yayınları.

Zarei, E., Khakzad, N., Cozzani, V. ve Reniers, G. (2019). Safety analysis of process systems using fuzzy bayesian network (FBN). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 57, 7-16.

Zhang, G. ve Thai, V. V. (2016). Expert elicitation and bayesian network modeling for shipping accidents: A literature review. *Safety Science*, 87, 53-62.

Zhang, G., Thai, V. V., Yuen, K. F., Loh, H. S. ve Zhou, Q. (2018). Addressing the epistemic uncertainty in maritime accidents modelling using bayesian network with interval probabilities. *Safety Science*, 102, 211-225.

Zhang, J., Teixeira, Â. P., Guedes Soares, C., Yan, X. ve Liu, K. (2016). Maritime transportation risk assessment of Tianjin Port with bayesian belief networks. *Risk Analysis*, 36(6), 1171-1187.

Zhao, L., Yan, Y., Wang, P. ve Yan, X. (2019). A risk analysis model for underground gas storage well integrity failure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103951.

Zhao, S., Soares, C. G. ve 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)*, 432-436.

Zhuang, Y. ve Su, W. (2015, June). Risk analysis on ship to ship (STS) crude oil transfer at sea. In *2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, 746-753.

Zenios, A. (2016). *Verification of ship compliance according to industry standards in ship-to-ship transfer Operation*. Yüksek Lisans Tezi, Chios University, Kios.

