

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GEMİ-KÖPRÜ KAZALARI İÇİN ÖNLEMLER VE BULANIK MANTIK
TABANLI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ OLUŞTURULMASI
ÖRNEK ÇALIŞMA: 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Fatih GÜLEN

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GEMİ-KÖPRÜ KAZALARI İÇİN ÖNLEMLER VE BULANIK MANTIK
TABANLI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ OLUŞTURULMASI
ÖRNEK ÇALIŞMA: 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammed Fatih GÜLEN
(512181022)**

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Muhsin KADIOĞLU

HAZİRAN 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 512181022 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammed Fatih GÜLEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GEMİ-KÖPRÜ KAZALARI İÇİN ÖNLEMLER VE BULANIK MANTIK TABANLI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ OLUŞTURULMASI - ÖRNEK ÇALIŞMA: 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Muhsin KADIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Özcan ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 26 Mayıs 2021
Savunma Tarihi : 22 Haziran 2021





Aileme,



ÖNSÖZ

İlk olarak, doğduğum günden bugüne dek her kararında arkamda duran, sevgi ve desteklerini devamlı üzerimde hissettiğim, bütün başarılarımın mimarı ve hayattaki en büyük şansım olarak nitelendirdiğim canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik kariyerime başlangıcında beni yüreklendiren, bu zamana kadar desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana rehber olan kıymetli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muhsin KADIOĞLU'na minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez sürecimin başından sonuna dek mesleki bilgi ve tecrübelerini paylaşmaktan kaçınmayan, bu anlamda görüş açımı genişleten, her daim yol gösteren, tezimin kurgulanmasında ve tamamlanmasında büyük emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Özcan ARSLAN'a içten teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez konum için ilham veren ve verilerin elde edilmesi aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli meslek büyüğü Emekli Kılavuz Kaptan Sedat TENKER'e şükranlarımı sunarım.

Haziran 2021

Muhammed Fatih GÜLEN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması.....	2
1.3 Yöntem.....	4
2. GEMİ-KÖPRÜ KAZALARI VE KORUYUCU-ÖNLEYİCİ TEDBİRLER ...	5
2.1 Su Yolları Üzerine Kurulan Köprülerin Hayatımızdaki Yeri.....	5
2.2 Tarihte Gemi-Köprü Kazaları.....	6
2.3 Gemi-Köprü Kazalarında Çarpma Kuvvetini Etkileyen Etmenler	10
2.4 Gemi-Köprü Kazaları İçin Uygulanan Önlemler.....	13
2.4.1 Gemi-köprü kazaları için uygulanan önleyici önlemler	13
2.4.1.1 Gemi trafik hizmetleri ve raporlama sistemleri	14
2.4.1.2 Kılavuzluk ve römorkör hizmetleri.....	16
2.4.1.3 Yerel kurallar ve geçiş düzenlemeleri.....	17
2.4.1.4 Seyir yardımcıları.....	18
2.4.1.5 Kurtarma hizmetleri	20
2.4.1.6 Erken uyarı sistemleri	21
2.4.2 Gemi-köprü kazaları için uygulanan koruyucu önlemler	22
2.4.2.1 Köprü ayaklarını karaya inşa etme.....	22
2.4.2.2 Köprü ayaklarını yeterince dayanıklı inşa etme.....	24
2.4.2.3 Yapay adalar.....	25
2.4.2.4 Kılavuz yapılar	26
2.4.2.5 Kazık destekli koruyucu yapılar	27
2.4.2.6 Usturmaça koruması.....	28
2.4.2.7 Döfün koruması	29
2.4.2.8 Yüzer koruyucu yapılar.....	31
3. 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ'NDE GEMİ-KÖPRÜ KAZALARINA KARŞI KORUYUCU VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLER	35
3.1 Türk Boğazları	35
3.1.1 Genel bilgiler	35
3.1.2 Türk Boğazları'ndan geçiş rejimi	36
3.1.2.1 Montrö Boğazlar Sözleşmesi	36

3.1.2.2	Türk Boğazları'nda yapılan ulusal düzenlemeler ve Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği.....	38
3.1.2.3	Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri.....	42
3.2	Çanakkale Boğazı ve 1915 Çanakkale Köprüsü	43
3.2.1	Çanakkale Boğazı	43
3.2.2	1915 Çanakkale Köprüsü	47
3.2.2.1	1915 Çanakkale Köprüsü'nde gemilerden kaynaklanan kaza riskine karşı alınan önleyici tedbirler	49
3.2.2.2	1915 Çanakkale Köprüsü'nde Gemi Kazalarına Karşı Alınan Koruyucu Önlemler.....	55
4.	1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ'NDE GEMİ-KÖPRÜ KAZALARINA KARŞI KORUYUCU VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLERİN ANALİZİ.....	57
4.1	Analiz Yöntemi	57
4.2	Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizleri	57
4.2.1	Geçerlilik Analizi	58
4.2.2	Güvenilirlik Analizi	58
4.3	Katılımcı Profili	59
4.4	1915 Çanakkale Boğazı'nda Gemi-Köprü Kazalarına Karşı Uygulanan Önleyici Önlemlerin Yeterlilikleri	61
4.4.1	Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH)	62
4.4.2	Kılavuzluk Hizmetleri.....	63
4.4.3	Römorkör Hizmetleri	64
4.4.4	Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği (TBDDY)	65
4.4.5	Seyir yardımcıları.....	66
4.5	1915 Çanakkale Boğazı'nda Gemi-Köprü Kazalarına Karşı Uygulanan Koruyucu Önlemlerin Yeterlilikleri.....	67
4.5.1	Yapay ada koruması.....	69
4.5.2	Kazık destekli koruyucu yapılar	70
4.5.3	Usturmağa koruması	72
4.5.4	Dolfin koruması	74
4.5.5	Yüzer koruyucu yapılar.....	76
4.5.6	Kılavuz yapılar.....	78
4.6	Koruyucu ve Önleyici Tedbirlerin Önem, Yeterlilik ve Uygulanabilirlik Analizi.....	80
4.6.1	Önleyici tedbirlerin önem ve yeterlilik analizi	80
4.6.2	Koruyucu tedbirlerin önem ve uygulanabilirlik analizi	82
5.	BULANIK MANTIK TABANLI GERÇEK-ZAMANLI GEMİ-KÖPRÜ ÇARPIŞMA RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ ÖNERİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA: 1915 ÇANNAKLE KÖPRÜSÜ	85
5.1	Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Kavramı	85
5.2	Bulanık Mantık Tabanlı Sistem	89
5.2.1	Kural tabanı.....	89
5.2.2	Bulanıklaştırma	90
5.2.3	Bulanık çıkarım motoru	90
5.2.4	Kural çıktılarının bir araya getirilmesi.....	91
5.2.5	Durulaştırma	91
5.3	Bulanık Mantık Tabanlı Gemi-Köprü Çarpışma Risk Değerlendirme Modelinin Metodolojisi.....	92
5.4	Risk Modelinin Oluşturulması	92
5.4.1	Geminin davranışını etkileyen dinamik faktörlerin belirlenmesi	94

5.4.2	Risk faktörlerinin bulanıklaştırılması	95
5.4.2.1	Dinamik faktörler	97
5.4.2.2	Doğal çevre faktörlerinin bulanıklaştırılması.....	101
5.4.3	Bulanık kural tabanının oluşturulması.....	102
5.4.4	Gemi-köprü çarpışma riskinin elde edilmesi	106
5.5	Bulanık Mantık Tabanlı Gemi-Köprü Çarpışma Erken Uyarı Sistemi Modeli için Örnek Uygulama Çalışması: 1915 Çanakkale Köprüsü..	107
5.5.1	Senaryo	107
5.5.2	Gemi dinamik verilerinin bulanıklaştırılması	108
5.5.3	Gemi-köprü çarpışma risk değerlendirmesi sonuçları	110
6. SONUÇ VE ÖNERİLER		119
KAYNAKLAR		121
EKLER		125
ÖZGEÇMİŞ		145





KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AIS	: Otomatik Tanımlama Sistemi
CCTV	: Kapalı Devre Kamera Sistemi
CİMER	: Cumhurbaşkanlığı İletişim Merkezi
COLREG	: Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü
DWT	: Dedveyt Tonajı
FEM	: Fintie-Element Metodu
FIS	: Bulanık Sonuçlandırma Sistemi
GMT	: Greenwich Ortalama Zamanı
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
GTH	: Gemi Trafik Hizmetleri
HF	: Yüksek Frekanslı Telsiz
IALA	: Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Otoriteleri Birliği
IMDG	: Denizyolu ile Taşınan Tehlikeli Maddelere İlişkin Uluslararası Kod
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
INMARSAT	: Uluslararası Denizcilik Uydu Organizasyonu
KEGM	: Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
LCBS	: Büyük Ölçekli Kompozit Tampon Sistemi
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MF	: Orta Frekanslı Telsiz
MSC	: Deniz Emniyet Komitesi
NAV	: Seyir Güvenliğı Alt Komitesi
RADAR	: Radyo ile Tespit Etme Ve Menzil Tayini
SIGGTO	: Uluslararası Gaz Tankeri ve Terminal İşletmecileri Organizasyonu
SP-1, SP-2	: Seyir Planı Raporu
TBDTDT	: Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü
TBDTDY	: Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliğı
TBGTH	: Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri

T.C. : Türkiye Cumhuriyeti
UNESCO : Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
VHF : Çok Yüksek Frekanslı Telsiz



SEMBOLLER

L_{ow}	: Geminin köprüye dikey uzaklığı
L_{gemi}	: Geminin tam boyu
$L_{köprü}$	: Köprünün orta açıklığı
L_{max}	: Köprüden geçen en büyük gemi uzunluğu
m	: Metre
NM	: Deniz Mili
R_p	: Geminin köprü orta hattına yatay uzaklığı
s	: Saniye
V_{gemi}	: Geminin hızı
W_{gemi}	: Geminin eni
$W_{köprü}$	: Köprünün tabya genişliği
W_{max}	: Köprüden geçen en büyük gemi genişliği
X_0	: Geminin yatay düzlemdeki konumu
Y_0	: Geminin dikey düzlemdeki konumu
θ_{normal}	: Köprüden normal geçiş rotası
θ_{rota}	: Geminin rotası
θ_{sapma}	: Geminin normal rotadan sapma açısı
π	: Sapma açısı sınır değeri
$^{\circ}$	: Derece
$\%$	: Yüzde işareti



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Çanakkale Boğazı 2006-2020 gemi geçiş istatistikleri (KEGM, 2020). ...	44
Çizelge 3.2: 2006-2020 yıllarında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemi tipleri (KEGM, 2020).....	45
Çizelge 3.3: 2006-2020 yıllarında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerin kılavuz alma durumları (KEGM, 2020).....	53
Çizelge 4.1: Faktör analizi sonuçları.	58
Çizelge 4.2: Anket güvenilirlik testi.	58
Çizelge 4.3: Maddelerin anket güvenilirliğine etkileri.	59
Çizelge 5.1: Uzman verileri.	97
Çizelge 5.2: Dinamik faktörlerin bulanıklaştırılması.	98
Çizelge 5.3: Doğal çevre faktörlerinin bulanıklaştırılması.	101
Çizelge 5.4: Dinamik faktörler EĞER-İSE kuralları.	104
Çizelge 5.5: Doğal çevre faktörleri EĞER-İSE kuralları.	105
Çizelge 5.6: Çarpışma riski EĞER-İSE kuralları.	106
Çizelge 5.7: Bulanık sonuçlandırma motoru ayarları.	106
Çizelge 5.8: Anlık bulanık girdiler.	110
Çizelge 5.9: Risk değerlendirme sonuçları.	117



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: SS Eso Maracaibo-General Rafael Urdaneta Köprüsü çatışması.	7
Şekil 2.2: SS Marine Floridian-General Harrison Memorial Bridge Çatışması.	7
Şekil 2.3: Star Clipper-Tjörn Bridge çatışması.....	8
Şekil 2.4: Queen Isabella Causeway Köprü Kazası.....	8
Şekil 2.5: Interstate-40 Köprü Kazası.....	9
Şekil 2.6: Jintang Bridge Kazası.....	9
Şekil 2.7: Ponte sobre o rio Moju Köprü kazası.	10
Şekil 2.8: Woisin çarpışma testleri.	10
Şekil 2.9: Woisin testleri çarpışma kuvveti-zaman grafiği.....	11
Şekil 2.10: DWT-Çarpışma Kuvveti ilişkisi.....	11
Şekil 2.11: Knott'tan sonra çarpışma kuvveti grafiği.	11
Şekil 2.12: Knott'tan sonra çarpışma kuvveti grafiği.	12
Şekil 2.13: FEM Simülasyonu.....	12
Şekil 2.14: Malaka Boğazı.....	15
Şekil 2.15: IALA Sistem-A seyir yardımcıları.	19
Şekil 2.16: 1915 Çanakkale Köprüsü planlanan gece aydınlatma sistemi.	19
Şekil 2.17: Kurtarma hizmetleri.	20
Şekil 2.18: Wu ve diğ. (2019) bulanık mantık tabanlı erken uyarı sistemi çalışma prensibi.	21
Şekil 2.19: Tjörn Köprüsü'nün eski hali.	23
Şekil 2.20: Tjörn Köprüsü'nün yeni hali.....	23
Şekil 2.21: Eski-Yeni Tjörn Köprüsü.	23
Şekil 2.22: İstanbul Boğazı köprüleri.	24
Şekil 2.23: Newport Köprü kazası, gemi hasarı.	25
Şekil 2.24: Newport Köprü kazası, köprü hasarı.	25
Şekil 2.25: Kap Shui Mun Köprüsü yapay ada koruması, Hong Kong.	25
Şekil 2.26: Crowne Prince Köprüsü, Almanya.....	26
Şekil 2.27: Neckar Nehri Köprüsü, Almanya.....	27
Şekil 2.28: Tromso Köprüsü'nde kullanılan kazık destekli koruyucu yapı planı.	27
Şekil 2.29: Amerika'daki Francis Scott Key Köprüsü'nde kullanılan beton usturma planı.	28
Şekil 2.30: Japonya'daki Bisan-Seto Köprüsü'nde kullanılan çelik usturma planı.	29
Şekil 2.31: Brezilya'daki Rio-Niterio Köprüsü'nde kullanılan delfin koruması (Fotoğraf: Niels Jlrger Gimsing).	30
Şekil 2.32: Yeni yapılan Sunshine Skyway köprüsünde delfin koruması.....	30
Şekil 2.33: Yeni yapılan Sunshine Skyway köprüsünde delfin koruması detayları..	31
Şekil 2.34: Zarate Braze-Largo Köprüsü, yüzer koruma.....	31
Şekil 2.35: Gemilerin yüzer platformları pas geçme riski.....	32
Şekil 2.36: LCBS kurulum aşamaları.	33
Şekil 2.37: LCBS için FE (Finite Element) modellemesi.....	33
Şekil 3.1: Türk Boğazları.....	35
Şekil 3.2: 2004-2017 yılları arasında Çanakkale Boğazı'nda meydana gelen gemi kazalarının türlerine göre dağılımları (KEGM, 2017).	46

Şekil 3.3: 2004-2017 yılları arasında Çanakkale Boğazı'nda meydana gelen gemi kazalarının sebeplerine göre dağılımları (KEGM, 2017).....	46
Şekil 3.4: Çanakkale Boğazı risk haritası (İlgar, 2015).	48
Şekil 3.5: Çanakkale Boğazı gözetleme kuleleri.	51
Şekil 3.6: Çanakkale Boğazı sektörleri.....	52
Şekil 3.7: 2004-2017 yıllarında yaşanan kazalarda gemilerin kılavuz kaptan bulundurma durumları (KEGM, 2017).	54
Şekil 3.8: Koruyucu önlemler ile ilgili CİMER cevabı.	56
Şekil 4.1: Katılımcıların meslek dağılımları.....	60
Şekil 4.2: Katılımcıların deniz tecrübelerine göre dağılımları.	60
Şekil 4.3: Katılımcıların öğrenim durumlarına göre dağılımları.	61
Şekil 4.4: Gemi Trafik Hizmetleri etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.....	62
Şekil 4.5: Kılavuzluk hizmetleri etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.....	63
Şekil 4.6: Römorkör hizmetleri etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.	64
Şekil 4.7: Yerel kurallar ve geçiş düzenlemelerinin etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.	65
Şekil 4.8: Seyir yardımcılarının etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.....	66
Şekil 4.9: Köprünün yalnızca çarpışmalara dayanacak kadar dayanıklı inşa edilmesinin koruyucu bir tedbir olarak yeterliliği.	68
Şekil 4.10: Yapay ada korumasının etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği. ..	69
Şekil 4.11: Yapay ada korumasının uygulanamama sebepleri.	70
Şekil 4.12: Kazık destekli koruyucu yapıların etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.	71
Şekil 4.13: Kazık destekli koruyucu yapıların uygulanamama sebepleri.	72
Şekil 4.14: Usturmaça korumasının etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.	73
Şekil 4.15: Usturmaça korumasının uygulanamama sebepleri.	74
Şekil 4.16: Usturmaça korumasının etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.	75
Şekil 4.17: Dolfin korumasının uygulanamama sebepleri.	76
Şekil 4.18: Yüzer koruyucu yapıların etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.	77
Şekil 4.19: Yüzer koruyucu yapıların uygulanamama sebepleri.	78
Şekil 4.20: Kılavuz yapıların etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği....	79
Şekil 4.21: Kılavuz yapıların uygulanamama sebepleri.	80
Şekil 4.22: Önleyici tedbirlerin önem ve etkinlik değerlendirmesi.	81
Şekil 4.23: 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanan önleyici tedbirlerin yeterliliği.	81
Şekil 4.24: Koruyucu yapıların önem ve etkinlik dereceleri.	82
Şekil 4.25: Koruyucu tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü'nde uygulanabilirlikleri....	83
Şekil 5.1: Üyelik fonksiyonları.....	87
Şekil 5.2: Üçgen üyelik fonksiyonu.....	87
Şekil 5.3: Yamuk üyelik fonksiyonu.	88
Şekil 5.4: Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi.	89
Şekil 5.5: VE bağlacı ile A ve B kümelerinin kesişimi.	90
Şekil 5.6: VEYA bağlacı ile A ve B kümelerinin birleşimi.....	91
Şekil 5.7: Bulanık Sonuçlandırma Sistemi (FIS).....	93
Şekil 5.8: Gemi davranışını etkileyen dinamik faktörler.	94
Şekil 5.9: Bulanık kümeler diyagramı.	102
Şekil 5.10: Geminin geçiş senaryosu.	107
Şekil 5.11: Köprü geçişi boyunca gemi hareketleri.	111

Şekil 5.12: Dinamik faktörler bulanık kümesi.....	112
Şekil 5.13: Doğal çevre faktörleri bulanık kümesi (gündüz geçişleri için).	113
Şekil 5.14: Çarpışma riski bulanık kümesi.	114
Şekil 5.15: Doğal çevre faktörleri için oluşturulan kural tabanı (gündüz).	115
Şekil 5.16: Gemi-köprü çarpışma risk değerlendirmesi (#3).....	116





GEMİ-KÖPRÜ KAZALARI İÇİN ÖNLEMLER VE BULANIK MANTIK TABANLI RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ OLUŞTURULMASI ÖRNEK ÇALIŞMA: 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ

ÖZET

Köprüler binlerce yıldır insanların ulaşmak istediği noktalarla aralarında bulunan engelleri aşmaları için kullandığı en önemli ulaşım unsurlarından biri olmuştur. Nehirler, kanallar, boğazlar gibi dar su yolları da günlük hayatın ve özellikle ulaşımın kolaylaşabilmesi açısından aşılması gereken engellerden biridir. İnsanların, dar su yollarını aşmakta kullandığı en yaygın yöntem olarak köprülerin inşa edilmesi karşımıza çıkmaktadır. İki kara parçası arasındaki mesafe yakinken köprü ayakları kara üzerinde konumlandırılabilirken, bu mesafe arttıkça köprü ayaklarının deniz içerisinde konumlandırılması da bir gereklilik haline gelmektedir. Dar su yolları, kara ulaşımı açısından bir engel olarak karşımıza çıkarken, dünya ticaretinin çok büyük bir kısmının gemiler vasıtasıyla yapıldığı göz önüne alındığında, deniz ulaşımı açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, ayakları dar su yolları içerisinde bulunan köprüler deniz yolu ulaşımı için kullanılan seyredilebilir su yollarını daraltmakta ve gemiler için kaza riskini de beraberinde getirmektedir. Tarih boyunca yaşanan birçok gemi-köprü kazası incelendiğinde, yaşanan kazaların çevresel ve maddi etkilerinin büyüklüğü dikkat çekmektedir. Haliyle, yaşanan yüzlerce gemi-köprü çatışmasının sebep olduğu yıkımlar, can kayıpları, çevre felaketleri gibi dramatik sonuçlar, mühendisleri, akademisyenleri, araştırmacıları bu konu üzerinde çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir. Çünkü, gemi-köprü kazalarının önlenmesi için; olası risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve kontrol altına alınması şüphesiz hayati önem taşımaktadır.

Gelişen teknoloji ve artan insan ihtiyaçları sonucunda hem köprüler hem de gemiler devasa boyutlara ulaşmıştır. Yapımı halen devam eden 1915 Çanakkale Köprüsü, tamamlandığında dünyanın en uzun orta açıklığına sahip asma köprüsü olma özelliğini kazanacaktır. Çanakkale Boğazı içerisinde Asya ve Avrupa kıtaları arasındaki bağlantıyı sağlayacak olan 1915 Çanakkale Köprüsü'nün kara ulaşımı açısından önemli bir alternatif olacağı ve büyük bir kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Çanakkale Boğazı, Akdeniz ile Karadeniz arasındaki deniz ticareti açısından en önemli su yolu olan Türk Boğazları'nın bir parçasıdır ve bu bakımdan yoğun bir deniz trafiğine sahiptir. Ayrıca, şiddetli akıntıları ve keskin dönüşleriyle zaten zorlu bir su yolu olan Çanakkale Boğazı, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün inşasıyla daha da zorlu bir hale gelmiştir. Bu devasa köprünün ayakları boğaz içerisinde konumlandığından dolayı önemli bir ticaret rotası olan ve her yıl binlerce geminin geçtiği Çanakkale Boğazı'nda seyir emniyeti bakımından büyük riskleri de beraberinde getireceği aşikârdır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, gemi-gemi kaza riski üzerine birçok çalışmanın yapıldığı, ancak gemi-köprü kaza riskinin değerlendirilmesiyle ilgili çok az sayıda çalışmanın yer aldığı görülmüştür. Bu çalışmalar arasında gerçek zamanlı verilerin alınarak çarpışma riskinin analiz edildiği yalnızca bir çalışmaya rastlanmıştır, ancak dünyanın en uzun asma köprüsü olacak olan 1915 Çanakkale Köprüsü gibi seyir zorluğunun çok yüksek olduğu bir su yolu içerisindeki bu denli büyük bir köprü ölçeğinde uygulamasına rastlanmamıştır. Öte yandan bu çalışma, gemi-köprü kazaları için uygulanan koruyucu ve önleyici tedbirler açısından da büyük bir kapsayıcılığa sahiptir.

Bu tez çalışması 5 kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda; tezin amacından, konuyla alakalı literatürde yer alan önceki çalışmalardan ve su yolları üzerine inşa edilen köprülerin hayatımızdaki yerinden bahsedilerek bir giriş yapılmıştır. İkinci kısımda; gemi-köprü kazalarının tarihçesine yer verilmiş, dar su yolları üzerine inşa edilen ve ayakları suyun içerisinde bulunan köprüler ile bu su yollarını kullanan gemiler arasındaki kazaların oluşumunu önlemek veya oluşan kazaların etkisini azaltmak için uygulanabilecek koruyucu ve önleyici tedbirlerin dünya üzerindeki örnekleri incelenmiştir. Daha sonra, denizcilik mesleğinde büyük bilgi ve tecrübeye sahip bir uzman ekibi oluşturularak, bu koruyucu ve önleyici tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü üzerinde uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi konusunda görüş ve tavsiyeleri alınmıştır. Üçüncü kısımda; Türk Boğazları hakkında genel bilgiler verilmiş, mevcut gemi geçiş rejiminden ve gemi geçişlerinde seyir emniyetinin sağlanması için yapılan uygulamalara değinilmiştir. Bu bölümde ayrıca, Çanakkale Boğazı ve 1915 Çanakkale Köprüsü hakkında detaylı bilgiler ve gemilerin seyir emniyetlerini ilgilendiren istatistiksel veriler paylaşılmıştır. Dördüncü kısımda; bulanık mantık tabanlı gemi-köprü kaza risk değerlendirme modeli oluşturulmuştur. Modelin amacı; köprü geçişi yapacak olan gemilerin, köprü yaklaşımlarından itibaren anlık dinamik verilerini ve anlık doğal çevre koşullarını analiz ederek gemi-köprü çarpışma riskini belirleyebilmek, böylece karar verme sürecine yardımcı olmak ve karşı tedbirlerin zamanında alınmasını sağlayarak oluşabilecek kazaların önüne geçebilmektir. Son kısımda; gemi-köprü kazaları için koruyucu ve önleyici tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde uygulanabilirliği değerlendirilmiş, sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Bulanık mantık tabanlı gemi-köprü kaza risk analiz modeli oluşturulurken, öncelikle kaza riskini etkileyebilecek dinamik faktörler ve doğal çevre faktörleri, literatürden edinilen bilgiler ve uzman görüşleri ışığında belirlenmiştir. Daha sonra, bu risk faktörleri bulanıklaştırılmıştır. Oluşturulan kural tabanı çerçevesinde bulanık çıkarım motoru çalıştırılmış ve elde edilen sonuç değerleri durulaştırılmıştır. Risk faktörlerinin bulanıklaştırılması ve kural tabanının oluşturulması aşamasında, ilgili alanda uzman olan kişilerden oluşan bir ekibe anket uygulanmış ve görüşlerinden faydalanılmıştır. Kural tabanında, bütün dilsel ifadelerin birbirleriyle kombinasyonlarının sonuçlarını içeren “eğer-ise” kuralları, uzman görüşleri ile belirlenmiştir. Model; üç ayrı bulanık kümenin birbirleriyle etkileşimleri sonucunda risk değerlendirmesini yapmaktadır. Birinci küme; geminin köprüye olan dikey uzaklığı, geminin köprüye olan yatay uzaklığı, gemi hızı ve geminin köprü rotasından sapma açısı girdilerinden oluşan dinamik verileri içermektedir. Bu veriler, Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) ve RADAR üzerinden gerçek zamanlı olarak alınacaktır. Birinci kümedeki dört risk faktörünün her birinin gemi-köprü kazası oluşturma riski “düşük-orta-yüksek” olarak üç dilsel değer ile ifade edilmiş ve toplamda 81 eğer-ise kuralı oluşturulmuştur. İkinci

küme; rüzgâr hızı, akıntı hızı, görüş mesafesi ve gece/gündüz geçiş durumu girdilerinden oluşan doğal çevre faktörlerini içermektedir. Bu küme için 54 eğer-ise kuralı oluşturulmuştur. Son küme; birinci ve ikinci kümenin sonuçlarını girdi olarak kullanmakta ve nihai risk değerlendirmesini sağlamaktadır.

Tez kapsamında, Çanakkale Boğazı'nda seyreden ve 1915 Çanakkale Köprüsü'nden geçecek olan bir geminin AIS verilerinin modele uygulanması ile bir senaryo oluşturulmuş ve gerçek zamanlı olarak gemi-köprü kaza riskinin değerlendirildiği örnek bir çalışma oluşturulmuştur.

Dar su yollarına inşa edilen ve ayakları su içerisinde konumlanmış olan köprüler için gemilerden kaynaklı kaza riskinin gerçek zamanlı olarak analiz edilmesini sağlayan bulanık mantık tabanlı bir modelin önerildiği bu çalışmanın; hem birden fazla gemiyi aynı anda gözle takip etmek zorunda olan Gemi Trafik Hizmetleri operatörlerinin işlerini kolaylaştıracağı, hem de oluşabilecek kazalara karşı zamanında tedbir alınabilmesi açısından faydalı olacağı, böylece emniyetli bir seyir ortamı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Olası bir gemi-köprü kazasının sebep olacağı maddi zararlar ve çevresel felaketler göz önünde bulundurulduğunda, çalışmada önerilen koruyucu ve önleyici tedbirlerin kazaların oluşumunu engellemek ya da etkilerini azaltmak açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.



**MEASURES FOR SHIP-BRIDGE COLLISIONS AND ESTABLISHMENT OF
FUZZY LOGIC-BASED RISK ASSESSMENT MODEL
CASE STUDY: 1915 ÇANAKKALE BRIDGE**

SUMMARY

For thousands of years, bridges have been one of the most important means of transportation that people use to overcome the points they want to reach and the obstacles between them. Narrow waterways such as rivers, canals and straits are also one of the obstacles to be overcome in terms of facilitating daily life and especially transportation. Building bridges appears to be the most common method used by people to overcome narrow waterways. While the distance between the two land parts is close, the piers of the bridge can be positioned on land, as this distance increases, the positioning of the bridge piers in the sea becomes a necessity. While narrow waterways appear as an obstacle in terms of land transportation, considering that most of the world trade is carried out by ships, it is of great importance in terms of sea transportation. However, bridges whose piers are in narrow waterways, further narrow the navigable waterways used for sea transport and bring the risk of collision for ships. When many ship-bridge accidents throughout history are examined, the magnitude of the environmental and financial effects of the accidents draws attention. Consequently, the dramatic consequences such as destructions, loss of life and environmental disasters caused by hundreds of ship-bridge collisions have encouraged engineers, academics and researchers to work on this subject. Because, in order to prevent ship-bridge collisions; It is undoubtedly vital to identify, analyze and control possible risks.

As a result of developing technology and increasing human needs, both bridges and ships have reached enormous sizes. The 1915 Çanakkale Bridge, which is still under construction, will become the longest middle span suspension bridge in the world when completed. It is thought that the 1915 Çanakkale Bridge, which will provide the connection between the Asian and European continents in the Çanakkale Strait, will be an important alternative in terms of land transportation and will provide great convenience. The Çanakkale Strait is a part of the Turkish Straits, which is the most important waterway between the Mediterranean and the Black Sea in terms of maritime trade, and in this respect, it has a very heavy traffic. In addition, the Çanakkale Strait, which is already a difficult waterway with its strong currents and sharp turns, has become even more difficult with the construction of the 1915 Çanakkale Bridge. Since the piers of this gigantic bridge are located in the water, it is obvious that it will bring great risks in terms of navigational safety in the Çanakkale Strait, which is an important trade route and thousands of ships pass through every year.

When the studies in the literature are examined, it is seen that many studies have been conducted on ship-ship collision risk, but there are very few studies on the assessment of ship-bridge collision risk. Among these studies, only one study was found in which

the collision risk was analyzed by obtaining real-time data, however, such a large bridge scale application in a waterway with very high navigational difficulty such as the 1915 Çanakkale Bridge, which will be the longest suspension bridge in the world, has not been encountered. On the other hand, this study has great coverage in terms of protective and preventive measures applied for ship-bridge collisions.

This thesis study consists of 5 parts. In the first part; An introduction was made by mentioning the purpose of the thesis, previous studies in the relevant literature and the place of bridges built on waterways in our lives. In the second part; The history of ship-bridge accidents is included. Worldwide examples of protective and preventive measures that can be applied to prevent the occurrence of collisions or to reduce the effect of accidents between the bridges whose piers are in the water built on narrow waterways and the ships using these waterways have been examined. Later, a team of experts with great knowledge and experience in the maritime profession gathered, and their opinions and recommendations were received on the evaluation of the applicability of these protective and preventive measures on the 1915 Çanakkale Bridge. In the third part; General information about the Turkish Straits has been given, and the current ship passage regime and the implementations made for ensuring navigational safety at ship passages have been mentioned. Also in this section, detailed information about the Çanakkale Strait and the 1915 Çanakkale Bridge and statistical data concerning the navigational safety of ships are shared. In the fourth part; A fuzzy logic-based ship-bridge collision risk assessment model has been established. The purpose of this model; from the bridge approach to the completion of the pass, to be able to determine the risk of ship-bridge collisions by analyzing the crisp dynamic data of the ships and the instantaneous natural environmental conditions, thus helping the decision-making process and preventing possible accidents by ensuring that the counter measures are taken on time. In the last part; The applicability of protective and preventive measures for ship-bridge accidents on the 1915 Çanakkale Bridge was evaluated and results and recommendations were presented.

While creating the fuzzy logic base ship-bridge collision risk analysis model, first of all, dynamic factors and natural environmental factors that may affect the accident risk were determined in the light of the information obtained from the literature and expert opinions. Later, these risk factors are fuzzified. The fuzzy inference engine was run in the frame of the rule base and the results obtained were defuzzified. In the process of fuzzification the risk factors and establishing the rule base, a questionnaire was applied to a team consisting of experts in the relevant field and their opinions were used. On the rule base, “if-then” rules, which contain the results of combinations of all linguistic values with each other, are determined by expert opinion. The model makes a risk assessment as a result of the interaction of three separate fuzzy logic boxes with each other. The first fuzzy logic box contains dynamic data consisting of the vertical distance of the ship to the bridge, the horizontal distance of the ship to the bridge, ship speed and angle of deviation of the ship from the bridge course. These data will be received in real time over the Automatic Identification System (AIS) and RADAR. The risk of each of the four risk factors in the first logic box was expressed in three linguistic values as “low-medium-high” and 81 if-then rules were created. The second logic box contains natural environmental factors, including wind, current, visibility, and day/night passage state inputs. For this set, 54 if-then rule was created. The last logic box uses the results of the first and second logic boxes as input and provides the final risk assessment. Within the scope of the thesis, a scenario was created by applying the real-time AIS data of a ship navigating in the Çanakkale Strait and passing under

the 1915 Çanakkale Bridge to the model, and a case study was created in which the ship-bridge collision risk.

In this study, a fuzzy logic-based model is proposed that enables real-time analysis of the collision risk originating from ships for bridges built on narrow waterways and whose piers are located in the water; It is considered that it will both facilitate the work of Vessel Traffic Services operators, who have to visually monitor more than one ship at the same time, and will be useful in terms of taking timely measures against possible accidents, thus providing a safe navigational environment.

Considering the financial damages and environmental disasters caused by a possible ship-bridge collision, it is thought that the protective and preventive measures proposed in this study will be beneficial in terms of preventing the occurrence of accidents or reducing their effects.





1 GİRİŞ

Köprüler binlerce yıldır insanların ulaşmak istediği noktalarla aralarında bulunan engelleri aşmaları için kullandığı en önemli ulaşım unsurlarından biri olmuştur. Bu engeller arasında su yolları ilk sıralarda gelmektedir. Köprülerin onlarca çeşidinden biri olan asma köprüler, kara trafiğinin su yollarını aşmasını sağlamak için en sık kullanılan köprü çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır. Modern anlamda ilk örneğine rastlanılan 1826 yılından bugüne kadar binlercesi inşa edilen asma köprüler, mevcut teknolojiyle artık devasa boyutlara ulaşabilmektedir. Örneğin, yapımı 1998 yılında tamamlanan Japonya'daki "Akashi Strait" 1991 metrelik orta açıklığıyla dünyanın en uzun asma köprüsü olma özelliğine sahiptir (Encyclopædia Britannica, 2016). Öte yandan, su yolları üzerine inşa edilen bu köprüler hayatı kolaylaştırmanın yanı sıra, altlarından akmakta olan deniz trafiği için de birtakım riskleri beraberinde getirmektedir. Özellikle ayakları su yolları içerisinde bulunan köprüler, mevcut su yollarını daraltmakta ve gemilerden kaynaklı kaza risklerini ciddi oranda artırmaktadır.

2017 yılının ikinci yarısında erken aşama çalışmalarına başlanan ve Eylül 2023'te bitirilmesi planlanan 1915 Çanakkale Köprüsü, 2023 metrelik orta açıklığıyla dünyanın en uzun asma köprüsü olma özelliğini kazanacaktır. Aynı zamanda 318 metrelik kule yüksekliği, köprüyü dünyanın en yüksek köprüleri arasına katmaktadır (ERM, Mart 2018). Bu devasa köprü, konumu ve doğal şartları itibarıyla dünyanın seyir tehlikeleri açısından en zorlu su yollarından biri olan ve Akdeniz ile Karadeniz'in bağlantısını sağlaması sebebiyle yoğun bir gemi trafiğine sahip olan Türk Boğazları'nın güney bölgesini oluşturan Çanakkale Boğazı'nda bulunmaktadır. Her yıl binlerce geminin geçtiği Çanakkale Boğazı, şiddetli akıntısı, keskin dönüşleri, yoğun lokal trafiğiyle hali hazırda riskli bir su yolu iken, iki ayağı da su içerisinde bulunan 1915 Çanakkale Köprüsü'nün inşasıyla birlikte bu risk faktörü katlanarak artmıştır. Bu durumda da olası risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve kontrol altına alınması şüphesiz hayati önem taşımaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezde; boğaz, kanal ve nehirler gibi dar su yolları içerisinde bulunan köprülerin ayaklarına gemilerden kaynaklı kaza riskini önlemek veya sonuçlarını en aza indirmek için kullanılan önleyici ve koruyucu tedbirlerin dünya üzerindeki uygulamaları incelenmiş ve kapsamlı bir çalışma ortaya konmuştur.

Ayrıca, bir önleyici tedbir olarak, dar su yollarında seyreden gemilerin köprü yaklaşımlarından köprü geçişlerine kadar olan geçiş süreçleri boyunca köprü ayaklarına çarpma riskini anlık dinamik ve çevresel verileri alarak gerçek zamanlı olarak analiz eden bulanık mantık tabanlı bir erken uyarı modeli önerilmiştir.

Bu tezin amacı; boğaz ve kanallar gibi dar su yolları içerisinde bulunan köprü ayakları için gemilerden kaynaklı kaza riskini önleme veya etkilerini azaltmak için kullanılan koruyucu ve önleyici tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde uygulanabilirlikleri açısından uzman görüşleri ışığında değerlendirilmesi ve önerilen bulanık mantık tabanlı gemi-köprü kaza risk analiz modelinin 1915 Çanakkale Köprüsü üzerinde örnek bir senaryo ile uygulanmasıdır. Elde edilen sonuçlar sayesinde, yapımı halen devam etmekte olan köprünün güvenliğini ve Çanakkale Boğazı'nı kullanacak olan gemilerin seyir emniyetini sağlamak adına uygulanabilir tedbirler önerilmesi amaçlanmaktadır. Öte yandan, önerilen erken uyarı modelinin, bölgede görev yapan ve aynı anda onlarca gemiyi takip eden gemi trafik hizmetleri operatörlerinin işlerini kolaylaştırabileceği düşünülmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

Tarih boyunca yaşanan yüzlerce gemi-köprü çatışması ve sebep olduğu yıkımlar, can kayıpları, çevre felaketleri gibi dramatik sonuçlar, mühendisleri, akademisyenleri, araştırmacıları bu konu üzerinde çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir. Dai ve diğerleri (2002), Çin'de 1959-2002 yılları arasında meydana gelen 213 gemi-köprü çatışmasını belirlemiş ve bu tip kazaların yaşanma sıklığının fazlalığına dikkat çekmiştir. Svensson'a (2009) göre, gelişen ulaşım ihtiyaçları ve bunun bir sonucu olarak ayakları su yolları içerisinde büyük yer kaplayan devasa köprülerin yapılmasıyla, bu köprülerin ayaklarının gemi çatışmalarından korunması konusu çok önemli bir hal almış, dikkate alınması gereken en önemli iki unsur ise: çatışma anında köprü ayağına etki edecek

kuvvetlerin belirlenmesi ve çatışmaya karşı korunma yöntemlerinin yapısal dizaynının belirlenmesi olarak ortaya çıkmıştır. Sha ve diğerlerine göre (2017), nehirler ve fiyortlar arasındaki köprüler potansiyel gemi çarpışmaları tehdidi altındadır ve bu sebeple bu tür çarpışma şiddetlerine güvenli bir şekilde dayanacak köprüler tasarlanmalı ve gemi çarpışma şiddetleri dikkatlice hesaplanmalıdır. Qu ve diğerleri (2011), Singapur Köprüsü için yaptıkları çalışmada dar, sık ve yoğun su yolundan geçen gemiler için gemi çarpışma riski değerlendirmesinin çok büyük önem taşıdığını belirtmiştir. Fang ve diğerleri (2016)'ne göre, köprünün konumlandırılması, seyir kanalı düzeninin uygun şekilde planlanması ve kabul edilebilir kriterlere göre çarpışma riskinin değerlendirilmesi konusundaki çabalara rağmen, gemi-köprü çatışmaları su üzerindeki köprüler için her zaman bir tehdittir ve büyük dedveyt tonajı ile yaklaşma hızı değişkenleri göz önüne alındığında, gemi-köprü çatışmaları sadece trajik bir şekilde birçok can kaybına neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda köprülerde ciddi hasarlara da yol açabilir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, gemi-gemi kaza riski üzerine birçok çalışmanın yapıldığı, ancak gemi-köprü kaza riskinin değerlendirilmesiyle ilgili çok az sayıda çalışmanın yer aldığı görülmüştür. Bu çalışmalar arasında gerçek zamanlı verilerin alınarak çarpışma riskinin analiz edildiği yalnızca bir çalışmaya rastlanmış (Wu ve diğ., 2019), ancak dünyanın en uzun asma köprüsü olacak olan 1915 Çanakkale Köprüsü gibi seyir zorluğunun çok yüksek olduğu bir su yolu içerisindeki bu denli büyük bir köprü ölçeğinde uygulamasına rastlanmamıştır. Rüştü Ilgar (2015), yaptığı çalışmada Çanakkale Boğazı'nda yaşanan gemi kazalarını baz alarak bir risk haritası oluşturmuştur. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün, bu risk haritasında riskin en yoğun olduğu bölgelere denk geldiği görülmektedir. Dünyanın en uzun orta açıklığına sahip asma köprüsü olacak olan 1915 Çanakkale Köprüsü aynı zamanda Çanakkale Boğazı içerisine inşa edilen ilk köprü olduğundan dolayı, bu bölge için gemi-köprü kaza riskini konu alan bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. 1915 Çanakkale Köprüsü için hazırlanan çevresel ve sosyal etki değerlendirme raporunda köprü ayaklarına gemilerin çarpma riskinin önemine dikkat çekilmiş, ancak riski önleyici tedbirlere yüzeysel olarak değinildiği görülmüştür (ERM, Mart 2018).

1.3 Yöntem

1915 Çanakkale Köprüsü için koruyucu ve önleyici tedbirlerin yeterlilikleri ve uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesinde anket uygulaması tercih edilmiştir. Anketin hazırlanması aşamasında konuyla ilgili uzman kişilerin görüşleri alınmıştır. Ankete katılan 67 kişilik uzman ekibi; denizcilik mesleğinde uzun yıllar geçirmiş, Çanakkale Boğazı hakkında önemli bilgi ve tecrübelerle sahip kılavuz kaptanlar, gemi trafik hizmetleri operatörleri, kurtarma gemisi kaptanı, uzakyol kaptanları ve akademisyenlerden oluşmaktadır. Sorularda her bir tedbirin etkinliğinin, uygulanabilirliğinin ve yeterliliğinin 11’li likert ölçeğine göre (0: en düşük, 10: en yüksek) değerlendirilmesi beklenmiştir. Toplanan veriler “IBM SPSS Statistics 27” programına işlenerek anketin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, önleyici bir faktör olarak önerilen erken uyarı sistemi için bulanık mantık kullanılmıştır. Çarpışma riskini etkileyen faktörler dinamik ve doğal çevre olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Her bir faktörün belirlenmesi için literatürdeki çalışmalardan ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Neden-sonuç ilişkilerinin belirlenmesi için oluşturulan kural tabanı için 10 kişilik bir uzman ekibi oluşturularak bütün olası senaryolar için risk değerlendirmeleri yapmaları sağlanmış ve her bir senaryonun ortalama sonucu sisteme kural olarak tanıtılmıştır. Bütün işlemler için “MATLAB R2020b” uygulaması kullanılmıştır. Sistemin oluşturulmasının ardından, bir senaryo oluşturulmuş ve 1915 Çanakkale Köprüsü için örnek uygulama yapılmıştır.

2 GEMİ-KÖPRÜ KAZALARI VE KORUYUCU-ÖNLEYİCİ TEDBİRLER

2.1 Su Yolları Üzerine Kurulan Köprülerin Hayatımızdaki Yeri

İnsan, doğası gereği merak eden ve bilinmeyenleri keşfetmek isteyen bir varlıktır. Gördüklerinin ötesindekini arar, bulduğuyla yetinmez ve hep daha ilerisini hedefler. İnsanlar gördüklerinin ötesindekini hedeflerken, doğa da onların karşısına çeşitli engeller çıkarmaktan geri durmaz. Denizler, göller, akarsular, boğazlar, vadiler, uçurumlar ve daha pek çok aşılması zor engel, insanların gitmek istedikleri yerlere ulaşmalarını ya engellemiş ya da zorlaştırmıştır. Ancak insanı diğer canlılardan ayıran yegâne özelliği olan düşünebilme ve çözüm üretebilme yetileri bu engelleri aşmalarında onlara yol göstermiş ve köprüler insanların hayatına girmiştir. Literatürdeki karşılığı olarak köprü, herhangi bir engelle ayrılmış iki yakayı birbirine bağlayan veya trafik akımının, başka bir trafik akımını kesmeden üstten geçmesini sağlayan ahşap, kâgir, beton veya demir yapı (Türk Dil Kurumu, 2020), anlamına gelmektedir.

Tarihteki ilk köprü kullanım örnekleri milattan önce 3000’li yıllara kadar dayanmaktadır. Rastlanan en ilkel köprü kullanımlarından biri olarak sığ sularda karşıdan karşıya geçmek için basamak olarak kullanılan taşlar karşımıza çıkmaktadır. Neolitik çağlarda yaşayan insanların bataklıklardan geçmek için odunları kullanarak inşa ettiği İngiltere’de bulunan “Sweet Track” ve “Post Track” gibi yürüme yollarının yaklaşık olarak 6000 yaşında oldukları tahmin edilmektedir (Bunning, 2001).

Zaman içerisinde köprülerin kullanım alanları ve yapıldığı materyaller çeşitlenmiş, ahşap ve taş gibi doğal malzemelerin yanı sıra demir, çelik, beton gibi malzemeler ile daha dayanıklı ve daha uzun ömürlü köprüler inşa edilmeye başlanmıştır. Köprüler artık ulaşımın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Günümüzde hayatın çeşitli alanlarında ve çeşitli amaçlarla köprüler kullanılmaktadır. Kıyıya yakın adaların karayla bağlantılarını sağlayan asma köprüler, karşıdan karşıya geçmek isteyen

yayaların emniyetli geçişini sağlayan geçitler, dik yamaçların kenarlarında yürümeyi sağlayan tahta köprüler, deniz yolu trafiğinin olduğu dar geçitlere yapılan açılır-kapanır köprüler ve bunun gibi araç, insan, raylı ulaşım araçları vb. trafiklerin, karşısına çıkan engeller üzerinden akmasını sağlayan birçok köprü türü ve köprülerin çeşitli kullanım amaçları bulunmaktadır.

Çok büyük miktarlardaki yüklerin daha az maliyetle taşınmasını sağladığından dolayı dünya üzerinde bugün en çok tercih edilen taşımacılık metodu olarak denizyolu taşımacılığı karşımıza çıkmaktadır. Dünya ticaretinin büyük kısmı denizler üzerinden gemiler vasıtasıyla sağlanmaktadır. Denizyolu taşımacılığında en önemli nokta, taşınacak yükün en emniyetli şekilde, en kısa yoldan, en az maliyetle taşınabilmesidir. Gemilerin rotalarının kısaltılması açısından kullanılan en önemli yollar, dünya üzerinde bulunan binlerce boğaz, kanal ve geçitlerdir. Her gün binlerce gemi bu doğal ya da yapay su yollarını kullanarak dünya ticaretinin devam etmesini sağlamaktadır. Diğer bir açıdan bu su yolları aynı zamanda iki yakayı birbirinden ayıran engellerdir. Bu yakaları birleştirmek için de en çok kullanılan araçlar köprülerdir.

İçinde bulunduğumuz 2020 yılında dünya nüfusu yaklaşık olarak 7,8 milyardır ve bu nüfusun yaklaşık olarak %40'ı kıyı bölgelerine uzaklığı 100 km olan bir bölge içerisinde yaşamaktadır (UN Atlas, 2010). Dolayısıyla dünya üzerindeki insanların çoğu, günlük hayatında su yollarından etkilenmektedir (Alexander & Nganga, 2016). Su yolları üzerinde bulunan ve kara trafiğinin üzerinden akmasını sağlayarak bu iki ayrı ulaşım yolunun birbirlerinden etkilenmeden kullanılabilmesine olanak sağlayan köprüler, şüphesiz hayatımızın olmazsa olmazlarından.

2.2 Tarihte Gemi-Köprü Kazaları

Ortam koşullarının uygunluğuna göre çeşitli yöntemlerle ve farklı türlerde inşa edilebilen köprüler bazı riskleri de beraberinde getirmektedir.

Bu risklerin, sonuçlarının büyüklüğü itibarıyla en önemlilerinden biri olarak şüphesiz gemi-köprü kazaları öne çıkmaktadır. Zira bu kazaların sonucunda sadece gemi ve köprü yapısal olarak zarar görmekle kalmayıp, aynı zamanda kirlilik kaynaklı büyük çevre felaketleri, yaşam alanlarına yakın yerlerde özellikle tehlikeli yük taşıyan gemilerden kaynaklı patlama sonucu ölümler, köprülerin yıkılmasıyla üzerinden

akmakta olan yaya ve araç trafiğinin gördüğü zararlar gibi önemli sonuçlar doğabilmektedir.

Tarihte birçok gemi-köprü kazası örneği bulunmaktadır. 7 Nisan 1964'te 250.000 varil ham petrol taşımakta olan 651 feet uzunluğundaki "SS Esso Maracaibo" adlı tanker gemisi Venezuela'daki Maracaibo Nehri'nde bulunan General Rafael Urdaneta Köprüsü ile çatışmış (**Şekil 2.1**) ve 42 kişi yaralanmıştır. Çatışma sonrası hasar alan gemiden ham petrol sızıntısı başlamış ve çevre kirliliğine yol açmıştır (New York Times, 1964).



Şekil 2.1: SS Esso Maracaibo-General Rafael Urdaneta Köprüsü çatışması.

24 Şubat 1977'de 5700 tonluk bir tanker gemisi olan SS Marine Floridian, dümen arızası sebebiyle, Virginia'da bulunan General Harrison Memorial Bridge adlı köprü ile çatışmış (**Şekil 2.2**) ve köprüde büyük hasara yol açmıştır (United States National Transportation Safety Board, 1978).



Şekil 2.2: SS Marine Floridian-General Harrison Memorial Bridge Çatışması.

18 Ocak 1980’de Star Clipper isimli geminin kreynerleri İsveç’te bulunan Tjörn Bridge köprüsüne çarpmış (**Şekil 2.3**) ve köprünün yıkılmasına yol açmıştır. O sırada köprünün üzerinden geçmekte olan 7 araç yaklaşık 40 metreden suya düşmüş ve 8 kişi hayatını kaybetmiştir (KÆLLBERG, 1980).



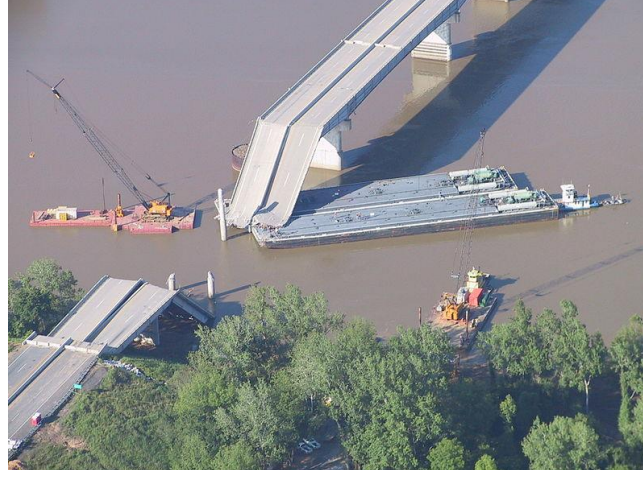
Şekil 2.3: Star Clipper-Tjörn Bridge çatışması.

15 Eylül 2001’de dört adet yüklü barge tipi gemi Amerika’nın Teksas eyaletinde bulunan Queen Isabelle Causeway köprüsünün destek sütunlarından birine çarparak köprünün orta bölümünün çökmesine yol açmıştır (**Şekil 2.4**). O sırada köprüden geçmekte olan araçlardan bir kısmı suya düşmüş ve 8 kişi hayatını kaybetmiştir. Köprü aynı zamanda South Padre adasını ana karaya bağlayan tek yol olduğu için ada kısa bir süre ikmal sorunu yaşamıştır (New York Times, 2001).



Şekil 2.4: Queen Isabella Causeway Köprü Kazası.

26 Mayıs 2002’de, yük mavnalarını çekmekte olan bir römorkör Amerika’nın Oklahoma eyaletinde bulunan Interstate-40 Köprüsü’nün ayaklarına çarpmış, köprünün yaklaşık 180 metrelik bölümünün çökmesine sebep olmuştur (**Şekil 2.5**).



Şekil 2.5: Interstate-40 Köprü Kazası.

Köprü, karayolu bağlantısını sağladığından, üzerinden o sırada geçmekte olan araçların bir kısmı suya çakılmıştır. Kazada 14 kişi hayatını kaybetmiş, 11 kişi yaralanmıştır (The National Transportation Safety Board, 2004).

27 Mart 2008’de 7000 tonluk bir yük gemisi, Çin’in Zhejiang bölgesinde bulunan Jintang Bridge isimli köprüye çarpmış, köprünün 60 metrelik orta bölümünün çökmesine sebep olmuştur (**Şekil 2.6**). Kazanın sebebi olarak vardiya zabitanın ihmali sonucu geminin rotasından çıkması ve köprünün daha alçak olan bölgesinden geçmeye çalışması gösterilmiştir. Kazada 20 gemi personelinin 16’sı kurtarılırken 4 personel hayatını kaybetmiştir (China Daily, 2008).



Şekil 2.6: Jintang Bridge Kazası.

7 Nisan 2019'da Brezilya'da bulunan Moju Nehri içerisinde seyretmekte olan bir feribot “Ponte sobre o rio Moju” adlı köprünün ayaklarından birine çarpmış ve köprünün 200 metrelik orta bölümü çökmüştür (Şekil 2.7). Köprüden geçmekte olan arabaların bir kısmı nehre düşmüş, şans eseri ölen olmamıştır. Ancak köprü ve feribot büyük ölçüde zarar görmüştür (BBC News, 2019).

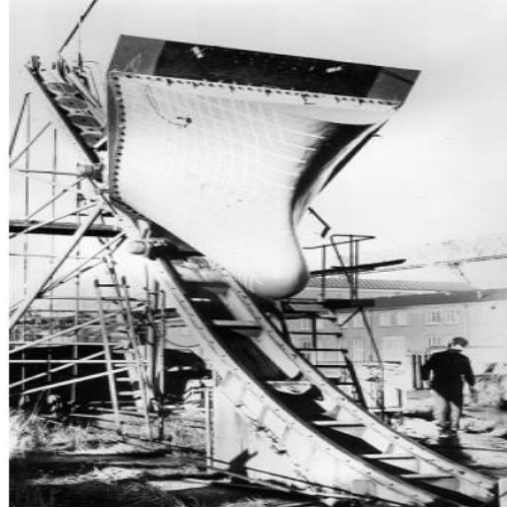


Şekil 2.7: Ponte sobre o rio Moju Köprü kazası.

2.3 Gemi-Köprü Kazalarında Çarpma Kuvvetini Etkileyen Etmenler

Gemi-köprü kazalarında sağlıklı bir risk değerlendirmesi yapılarak olası sonuçların doğru analiz edilebilmesi açısından çarpma kuvvetini etkileyen etmenlerin belirlenmesi ve köprünün bu kuvvetlere dayanabilecek bir yapısal tasarıma sahip olması büyük önem taşımaktadır.

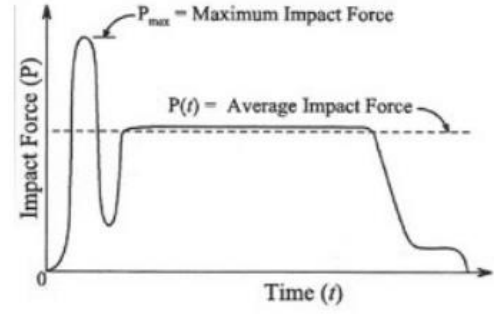
Bu bölümde, gemi-köprü kazalarında hasarın büyüklüğünü etkileyen başlıca etmenler ele alınmıştır.



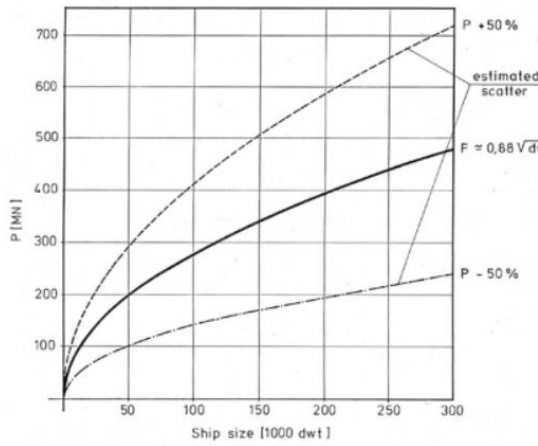
Şekil 2.8: Woisin çarpışma testleri.

Konuyla alakalı olarak, Gerhard Woisin yönetiminde, gemilerin köprü ayaklarına kafa-kafaya çarpmalarıyla ilgili çarpışma testleri Almanya'da gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.8).

Yapılan testler neticesinde çarpma kuvvetiyle çarpışma zamanı arasında dinamik bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Woisin, 1976). Buna göre; çarpışmanın 0,1-0,2 saniyeleri aralığında çarpışma kuvvetinin ortalama değerin iki katına çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.9).



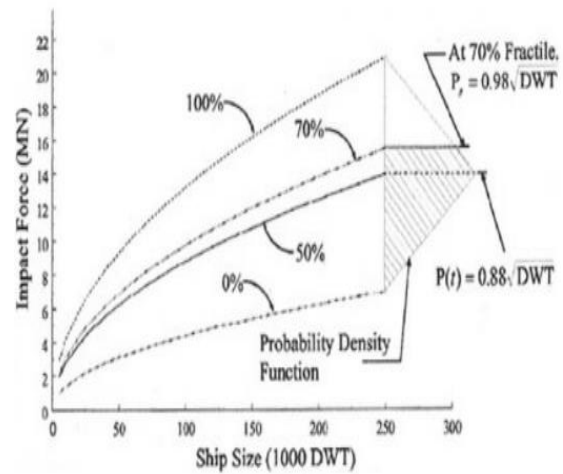
Şekil 2.9: Woisin testleri çarpışma kuvveti-zaman grafiği.



Şekil 2.10: DWT-Çarpışma Kuvveti ilişkisi.

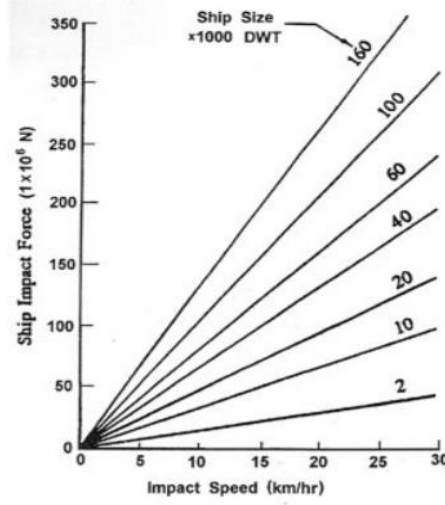
çarpışma kuvveti dağılımı ortaya çıktığından dolayı $\pm\%50$ 'lik bir sapma payı formüle eklenmiştir ($P=0,88 \cdot \sqrt{DWT} \cdot \pm\%50$).

1980'de bir dökme yük gemisinin Amerika'da bulunan Sunshine Skyway Köprüsü'nün ayağına çarpmasıyla köprü'nün 400m'lik bölümü çökmüş ve 38 kişi hayatını kaybetmiştir. Bunun üzerine ABD'de köprü mühendislerinin yapıları gemi çarpışmasına yönelik etkilere karşı değerlendirmek için kullanabileceği bir standart oluşturma çalışmalarına başlamıştır. Araştırma ekibinin başında bulunan Michael A. Knott (1991); Woisin ve Svensson'un daha önceki çalışmalarından yola çıkarak



Şekil 2.11: Knott'tan sonra çarpışma kuvveti grafiği.

onların formülünü geliştirmiş ($F=1,11.0,88.\sqrt{DWT.v/8}$) ve hız faktörünü de dahil etmiştir (Şekil 2.11, Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Knott'tan sonra çarpışma kuvveti grafiği.

Günümüze gelindiğinde, gelişen teknolojiyle birlikte köprü tasarımlarında gemi çarpmalarına karşı çeşitli senaryolar simüle edilerek çarpma kuvvetlerine karşı köprü dayanıklılığı ve olası sonuçların değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Çin'in Şangay şehrinde bulunan Tongji Üniversitesi'nde geliştirilen Finite-Element Method (FEM)



Şekil 2.13: FEM Simülasyonu.

simülasyonu ile gemi-köprü çarpışmalarıyla alakalı gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir (Şekil 2.13).

Sonuç olarak; bir gemi seyir halinde iken bir köprünün ayağına çarptığında ortaya çıkacak hasarı oluşturan çarpma kuvvetlerini etkileyen başlıca etmenler şu şekilde özetlenebilir;

- Geminin tasarımsal yapısı
- Geminin çarpma hızı
- Geminin dedveyt tonajı
- Çarpışma süresi
- Çarpışma yüzeyinin yapısı
- Köprü ayağı üzerindeki kuvvetler ve stres faktörleri

2.4 Gemi-Köprü Kazaları İçin Uygulanan Önlemler

2.4.1 Gemi-köprü kazaları için uygulanan önleyici önlemler

Seyredilebilir su yolları üzerinde bulunan köprüler, altlarından akan gemi trafiği sebebiyle kaza riski altındadır. Daha önceki bölümlerde ele alındığı üzere tarihte bu tür kazaların pek çok örneği bulunmaktadır. Bu tür kazalar insan hayatı, çevre, mal gibi açılardan tamiri zor ve uzun süreler gerektiren ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Köprülerin gemi kaynaklı kazalardan korunabilmeleri açısından en önemli ve başlıca alınması gereken önlemler, şüphesiz, bu kazaları henüz gerçekleşmeden engellemeye yönelik alınması gereken önleyici önlemlerdir. Bu önlemler genel anlamıyla, köprülerin içerisinde bulunduğu su yollarında azami seyir emniyetini sağlamak, devamlı ve sağlıklı bilgi akışının teminiyle muhtemel riskleri asgari seviyeye indirmek amacını taşımaktadır.

İçinde bulunduğumuz dönemde dünya deniz taşımacılığı, devamlı olarak daha büyük gemilerin inşa edilebilmesi, daha büyük miktardaki yüklerin taşınabilmesi, tehlikeli yüklerin çeşitliliği, gemi hızlarının artması gibi gelişmelerle ortaya çıkan seyir emniyetindeki risk artışını, gelişen seyir sistemleri teknolojisi ve bilgi paylaşımında teknolojinin yaygın kullanımıyla dengelemeye çalışmaktadır. Zaman içerisinde, her ne kadar, yaşanan kaza olaylarında gözle görülür bir azalma sağlandıysa da kaza olayları halen yaşanmaya devam etmektedir. Bu sebeple alınan tedbirlerin çeşitliliği, güncelliği ve uygulanabilirliği büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde köprülerin gemilerden kaynaklı kazalardan korunabilmesi amacıyla uygulanan önleyici önlemler genel olarak şu başlıklar altında incelenebilir;

- Gemi Trafik Hizmetleri ve Raporlama Sistemleri
- Kılavuzluk ve Yedekçilik Hizmetleri
- Yerel Kurallar ve Geçiş Düzenlemeleri
- Fenerler ve Şamandralar
- Erken Uyarı Sistemleri

2.4.1.1 Gemi trafik hizmetleri ve raporlama sistemleri

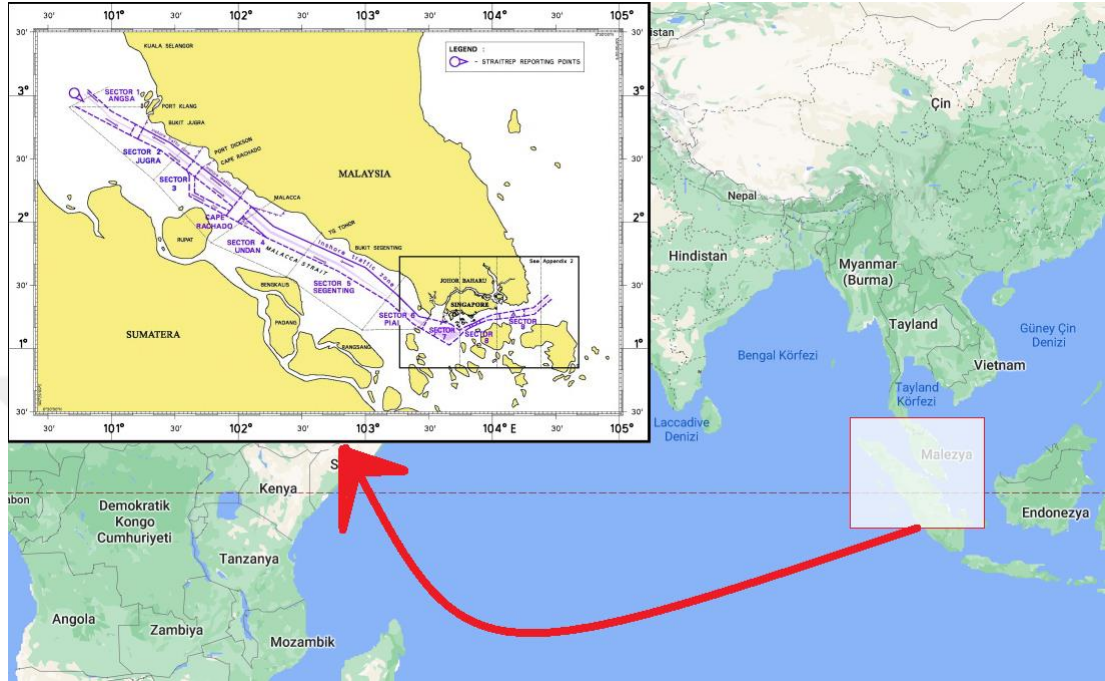
Köprülerin gemilerden kaynaklı kaza riskinden korunabilmeleri ve gemilerin seyirlerini en emniyetli şekilde gerçekleştirebilmeleri için özellikle seyredilen dar ve tehlikeli su yollarında yeterli, sürekli, güncel ve doğru bilgi akışı sağlanması hayati önem taşımaktadır. Seyredilen su yolunun mevcut meteorolojik durumu, akıntı ve rüzgârın seyre sorun teşkil edebileceği yerler, gemi trafiği durumu, geçiş için takip edilmesi gereken sıra, seyredilmesi gereken emniyetli hız, varsa devam edilen çalışmalar ve neta olunması gereken mesafeler, uyulması gereken yerel kurallar, kılavuzluk ve yedekçilik hizmetleriyle ilgili istenen düzenlemeler, seyir esnasında diğer gemilerden kaynaklı oluşabilecek acil durumlara karşı erken uyarı yapılması, acil durum oluşan geminin kontrol altına alınabilmesi için uyması gereken talimatların bildirilmesi vb. konularda bilginin hızlı ve etkin bir şekilde paylaşılması konusunda bölgesel gemi trafik hizmetleri ve raporlama sistemleri büyük rol oynamaktadır.

Gemi trafik hizmetleri ve oluşturulan raporlama sistemleri bölgesel olarak çeşitli farklar gösterse de talep ettikleri sözlü ve/veya yazılı raporlar aracılığıyla genel olarak gemilerden aldıkları;

- Gemi adı
- IMO numarası
- Acente bilgileri
- Şirket bilgileri
- Gemi sigorta bilgileri
- Geminin tonajı ve boyutları
- Geminin su çekimi
- Kalkış-varış limanları
- Taşınan yük bilgisi ve miktarı
- Geminin manevra özellikleri
- Geminin teknik bilgileri
- Gemideki yağ-yakıt miktarı
- Gemideki makina ve ekipmanların arıza-hasar-yetersizlik bilgileri
- Kılavuz ve yedekçilik talep durumu

gibi bilgilerle birlikte, seyrin yapılacağı su yoluyla ilgili bölgesel verileri birleştirerek gemilerle uygun bilgi alışverişini sağlamak ve gemilerin en emniyetli şekilde söz

konusu su yolundan geçişini planlamaktadır. Tüm bunların yanında gemilerin anlık hareketlerini gelişmiş radar sistemleri, gps ve ais bilgileri ile birlikte yetkin operatörleri aracılığıyla takip ederek sürekli olarak seyir emniyetinin korunmasını ve acil durumlara en hızlı şekilde müdahale edilmesinin sağlanmasını amaçlamaktadır.



Şekil 2.14: Malaka Boğazı.

Seyir emniyetinin sağlanmasında önemli bir yere sahip olan bu seyir yardımcıları, ülkelerin karasuları, liman yaklaşımları ve çeşitli özel bölgelerin yanı sıra özellikle boğazlar ve kanallar gibi dar su yollarında da dünya üzerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; Singapur'da bulunan Malaka Boğazı (Şekil 2.14) dünya deniz ticareti açısından en önemli su yollarından biridir. Bu boğaz, konumu itibarıyla Hint Okyanusu ve Pasifik Okyanusu'nu birbirine bağlayan en kısa deniz rotasıdır ve Avrupa, Orta Doğu ve Uzak Doğu arasındaki deniz taşımacılığının en önemli bağlantısı olma özelliğini taşımaktadır. Dünya ticareti açısından çok kilit bir rolü bulunmasının yanında, aynı zamanda coğrafi olarak dar ve sık bir su yolu olan Malaka Boğazı (Malacca Strait), yoğun gemi trafiğinin de eklenmesiyle seyir emniyeti açısından riskli bir durum oluşturmaktadır. Büyük bir ekonomik rolü olması sebebiyle de buradaki gemi seyrinin emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmesi ve risklerin minimize edilmesi denizcilik otoriteleri açısından önem arz etmiştir. Bu yüzden, 1998 yılında IMO tarafında bölgede zorunlu olarak uygulanmak üzere bir gemi raporlama sistemi oluşturulmuştur (STRAITREP). Aynı zamanda boğaz 9 ayrı sektör bölgesine bölünmüş, boğazdan geçen gemilerle ilgili gerekli bilgi akışının sağlanması, yerel

kuralların uygulanması ve gemi geçişlerinin düzenlenmesini sağlamak üzere Singapur Gemi Trafik Hizmetleri oluşturulmuştur. Doğru ve etkin bilgi aktarımı sayesinde bölgedeki gemi kazalarında olumlu olarak gözle görülür değişimler sağlanmıştır (Xiaobo ve diğ, 2011).

Sonuç olarak, gemi trafik hizmetleri ve oluşturulan raporlama sistemleri, görev alanları içerisinde seyir yapan gemiler arasındaki bilgi akışını ve trafik koordinasyonunu sağlayan en önemli unsurlardır. Dolayısıyla, su yolları üzerinde bulunan köprülerin gemilerden kaynaklı kazalara maruz kalma ihtimalinin düşürülmesindeki büyük rolü ile risk yönetiminde önleyici tedbirlerin başında yer almaktadır.

2.4.1.2 Kılavuzluk ve römorkör hizmetleri

Gemilerin köprülerle çatışma riskini en aza indirmek açısından gemilerin seyir emniyetinin azami düzeyde sağlanması en önemli unsurdur. Özellikle köprülerin üzerinde bulunduğu dar su yollarındaki yerel akıntı ve rüzgâr rejimi, yerel gemi trafiği, güncel sığıklar, devam eden yapım çalışmaları gibi seyredilen bölgeye özel seyir tehlikelerinin bilinmesi ve bunlardan kaynaklı oluşabilecek özel durumlara karşı tedbirli olunması gerekmektedir. Dünya üzerinde hemen hemen her dar su yolunun kendine özel yapısı vardır ve bunlardan doğan risklere karşı özel tedbirleri almayı gerektirir. Her ne kadar seyir kitaplarında bu bölgelerle alakalı bilgiler bulunsa da, tecrübe faktörü, seyir riskini asgari düzeye indirmekte büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, dar su yollarından geçişlerde kılavuzluk ve gerekiyorsa yedekçilik hizmetlerinden faydalanmak, risk yönetiminin önemli bir parçasını oluşturur.

Kılavuz kaptanlar, uzun yıllar mesleki tecrübe edinmiş, çok çeşitli gemi tiplerini tanıyan, bölgesel seyir risklerinin farkında olan, seyredilecek bölgenin tüm detaylarına hâkim olan ve bu sayede hizmet verdikleri gemilerin görev yaptıkları bölgelerden en emniyetli şekilde seyirlerini gerçekleştirebilmeleri adına gemi kaptanlarına tavsiyeler veren kişilerdir. Görev tanımları itibarıyla Gemi Trafik Hizmetleri (GTH)'ne benzerlik gösterirler, ancak kılavuz kaptanlar GTH'den farklı olarak bizzat geminin içerisinde, anlık müdahalelere hazır olarak bulunmaktadır. Ayrıca kılavuz kaptanlar bölgesel otoritelerle, GTH'yle, arama kurtarma birimleriyle güçlü bir iletişime sahiptir ve olası bir acil durumda uygulanması gereken tüm prosedürlere hâkimdir. Bu sebeple, zaman kavramının en önemli unsur olduğu acil durumlarda, en hızlı aksiyonun alınmasını sağlayabilecek kişi de gemide bulunan kılavuz kaptanlardır. Bir geminin spesifik

özelliklerini en iyi tanıyan kişi o geminin kaptanıdır. Ancak gemi kaptanından seyir bölgesini bir kılavuz kaptan kadar iyi tanınması beklenemez. Bu açıdan gemi kaptanı ve kılavuz kaptan geminin emniyetli seyri konusunda birbirlerini tamamlayıcı niteliktedir.

Konuyla ilgili yapılan birçok çalışma, kılavuzluk hizmetlerinin gemilerin seyir emniyetleri üzerindeki büyük etkisini ortaya koymaktadır. Örneğin; dünyanın en zorlu su yollarından biri olarak kabul edilen İstanbul Boğazı; özel akıntı rejimi, seyredilebilir alanların darlığı, içerisinde barındırdığı üç asma köprü, yoğun yerel deniz trafiği, çok sayıdaki büyük açılı rota değişiklikleri gibi kendine özgü nitelikler taşımaktadır. Bu kadar seyir tehlikesini içerisinde barındıran İstanbul Boğazı'nda 1982-2003 yılları arasında kayıtlara geçen 608 deniz kazası meydana gelmiştir. Bu 608 kazanın içerisindeki gemilerden 564 (%92,8) tanesinde kılavuz kaptan bulunmazken, yalnızca 44 (%7,2) tanesinde kılavuz kaptan bulunuyor olması da kılavuz kaptanların gemilerin seyir emniyetlerine olan katkısını gösteren önemli bir istatistiktir (İstikbal, 2006).

Sonuç olarak; köprülerin bulunduğu dar su yollarında, köprüleri gemilerden kaynaklı kaza riskinden korumak için seyir emniyetinin azami ölçüde sağlanması büyük önem taşımakta ve bu riskin azaltılmasında tecrübeli bir kılavuz kaptandan ve gerekiyorsa yedekçilik hizmetlerinden faydalanmak önemli bir olumlu unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, kılavuzluk ve yedekçilik hizmetleri de GTH gibi, en önemli önleyici tedbirlerin başında yer almaktadır.

2.4.1.3 Yerel kurallar ve geçiş düzenlemeleri

Boğazlar ve kanallar gibi dar su yollarından seyreden gemilerin seyir emniyetlerinin sağlanması ve bu gemilere karşı can, mal ve çevrenin korunması için bu su yollarında bulunan gemi trafiğinin düzenlenmesi ve gerekli özel tedbirlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Nasıl ki kuralların olmadığı bir karayolunda akan araç trafiği birçok kaza riskini barındırıyorsa, bu durum deniz trafiği için de geçerlidir. Boğazlar ve kanallar gibi dar su yolları için uluslararası düzenlemeler bulunmaktadır (COLREG Kural 9-Kural 10), ancak bu kurallar özellikle kendine has seyir tehlikelerini içeren dar ve sığ su yollarında yetersiz kalabilmektedir. Nitekim, Türk Boğazları bunun en büyük örneklerinden biridir. Önceleri, Türk Boğazları'ndan geçen gemiler, seyir emniyeti açısından Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'nde bulunan "Dar Kanallar" (COLREG Kural-9) kuralına göre seyirlerini gerçekleştirmekteydi. Bu kural Türk Boğazları gibi dünya deniz ticareti açısından kilit bir rolü bulunan, her yıl binlerce geminin

milyonlarca ton yükü birlikte geçtiği, kıyılarında milyonlarca insanın yaşadığı, her bir karşı köklü bir tarih barındıran ve tüm bunların yanında seyir açısından bu denli zorlu olan bir su yolu için seyir, çevre ve canlı yaşamının emniyetleri açısından son derece yetersiz kalmakta ve ek düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktaydı. Bu sebeple, Türk Boğazları'nda uygulanmak üzere İstanbul Liman Tüzüğü, Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü, Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği gibi yerel düzenlemeler uygulamaya koyulmuştur. Ayrıca, bir trafik ayırım düzeni oluşturulmuş ve IMO tarafından kabul görmüştür. Bu geçiş düzenlemelerinin ve yerel kuralların uygulanmaya başlanmasıyla, Türk Boğazları'nda yaşanan gemi kazalarında ciddi bir azalma görülmüştür (Oral, 2006). Benzer şekilde, Singapur'da bulunan Malaka Boğazı da dünya ticareti açısından büyük öneme sahip olan, dar, sığ, yoğun trafikli ve bu sebeple seyir emniyeti açısından riskli bir su yoludur. Bu su yolu içerisinde yaşanan kazaların azaltılması ve seyir, çevre, can ve mal emniyetlerinin sağlanabilmesi amacıyla uluslararası düzenlemelerin yanında yerel kurallara ve ek geçiş düzenlemelerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda, Malaka Boğazı'nda uygulanmak üzere, 1981 yılında, bir trafik ayırım düzeni oluşturularak uygulamaya koyulmuştur. 1998 yılında, bu bölgede seyredecek gemilere rehber olması amacıyla içerisinde önemli seyir notları ve tavsiyeler içeren bir seyir rehberi oluşturulmuştur (Passage Planning Guide: Malaka&Singapore Straits). Uluslararası Gaz Tankeri ve Terminal İşletmecileri Ltd. (SIGTTO) tarafından oluşturulan bu seyir rehberinin yanında, boğaz çeşitli etaplara bölünmüş ve hız sınırlamaları gibi özel seyir düzenlemeleri getirilmiştir. Tüm bu kural ve düzenlemeler neticesinde, İstanbul Boğazı'nda olduğu gibi, Malaka Boğazı'nda da yaşanan gemi kazalarında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir (Xiaobo ve diğ., 2011).

Sonuç olarak; dar su yollarında seyir emniyetinin sağlanması açısından bölgenin özel koşulları göz önünde bulundurularak, uluslararası kurallara ek yerel kuralların ve geçiş düzenlemelerinin oluşturulması büyük katkı sağlamaktadır. Dar su yolları üzerinde bulunan köprülerin gemi kaynaklı kaza riskinden korunabilmesi için birinci unsur, burada seyreden gemilerin seyir emniyetinin sağlanmasıdır. Bu bağlamda yerel kurallar ve geçiş düzenlemeleri, önemli bir önleyici tedbir olarak öne çıkmaktadır.

2.4.1.4 Seyir yardımcıları

Boğazlar ve kanallar gibi dar su yollarında seyir emniyetinin sağlanması için bir diğer önemli unsur da seyir yardımcılarıdır. Gemilerin seyirleri esnasında rotanın emniyetli

bir şekilde takip edilebilmesi ve seyir tehlikelerinden kaçınılabilmesi açısından rehber ve uyarı işaretleri olarak hizmet eden seyir yardımcıları arasında;

- Fenerler,
- Lateral Şamandıralar,
- Kardinal Şamandıralar,
- Emniyetli Su İşaretleri,
- Tecritli Tehlike İşaretleri,
- Özel İşaretler,
- Sektör Fenerleri,
- Kılavuz Fenerler,
- Radyo Fenerleri (beacon),
- Liman/İskele Fenerleri yer almaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: IALA Sistem-A seyir yardımcıları.

Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Otoriteleri Birliği (IALA) tarafından standartları belirlenen bu seyir yardımcıları, su yollarında gemi trafiğinin emniyetli bir şekilde devam edebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gemiler, mevcut seyir tehlikelerine karşı uyarılmak, takip edilmesi gereken rotada kalabilmek, mevkiilerini teyit edebilmek ve referans noktaları alabilmek için seyir yardımcılarından faydalanmaktadırlar. Bu açıdan, seyir yardımcıları da gemilerin dar su yollarında emniyetli seyrine büyük ölçüde katkı sağlamaktadırlar.

Diğer yandan, köprülerin bulunduğu dar su yollarında, bu köprülerin aydınlatma sistemleriyle donatılması da gemilerin seyrini kolaylaştırıcı bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: 1915 Çanakkale Köprüsü planlanan gece aydınlatma sistemi.

2.4.1.5 Kurtarma hizmetleri

Dar su yollarında seyreden gemilerin seyir emniyetlerinin sağlanması ve can, mal, çevrenin korunması için olası acil durumlarda her an müdahaleye hazır bir kurtarma hizmetleri sisteminin bulunması büyük önem taşımaktadır. Kurtarma hizmetleri, risk yönetimi içerisinde büyük bir role sahiptir. Gemilerin seyirleri esnasında herhangi bir sebeple özellikle makina, dümen donanımı vb. sevk ve idare sistemlerinde ani arızalar, yangın, su alma gibi durumlar yaşanabilmekte, bu durumlar dar su yolları içerisinde gerçekleştiğinde manevra sahalarının darlığı, akıntı, rüzgâr, mevcut gemi trafiği gibi zorlu koşullar sebebiyle büyük tehlikeler ortaya çıkabilmektedir (**Şekil 2.17**). Bu gibi durumlarda alınacak aksiyon ve bu aksiyonun alınma süresi hayati öneme sahiptir.



Şekil 2.17:Kurtarma hizmetleri.

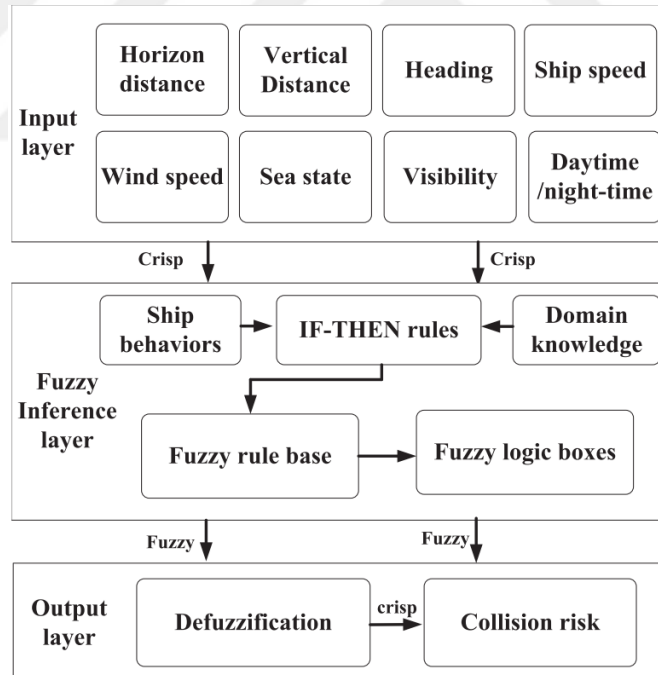
Dar su yollarında görev yapan kurtarma hizmetleri, bölgenin özel yapısına göre, oluşabilecek anlık tehlikelere karşı acil durum prosedürlerine sahiptir. Genel olarak acil durumlara sözlü talimatlarla ve/veya fiili olarak anında müdahale ederler. Acil durumdan etkilenen bütün unsurları (acil durumun yaşandığı gemi, diğer gemiler, yerel trafik, kurtarma faaliyetine katılacak unsurlar, etkilenebilecek kıyı unsurları vb.) hızlı bir şekilde koordine ederek olası sonuçları ortadan kaldırmayı veya kaçınılmaz etkiyi en aza indirmeyi amaçlarlar. Kurtarma hizmetleri, alanında yetkin ve tecrübeli kişiler tarafından yürütülür.

Bütün önleyici tedbirlere rağmen, bir acil durum oluşması halinde son önleyici tedbir olarak kurtarma hizmetleri devreye girmektedir. Bu bakımdan kurtarma hizmetleri de köprülerin gemilerden kaynaklı kaza riskinden korunması konusunda önemli bir önleyici tedbir olarak yerini almaktadır.

2.4.1.6 Erken uyarı sistemleri

Teknolojide yaşanan son gelişmelerle birlikte köprülerin gemilerden kaynaklı kaza riskinden korunabilmeleri için kullanılabilecek erken uyarı sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin amacı, anlık risk değerlendirmeleri yaparak olası tehlikeleri erkenden tespit etmek ve müdahale için daha fazla zaman yaratmaktır.

Erken uyarı sistemleriyle ilgili çarpıcı çalışmalardan biri de Wu ve diğerlerinin (2019) bulanık mantık tabanlı erken uyarı sistemidir. Bu sistem; anlık gemi bilgilerini, köprü parametrelerini ve doğal ortamın özel koşullarını dikkate alarak gemi-köprü çatışmalarının önceden tespit edilebilmesini içeren bir yaklaşımı içermektedir (**Şekil 2.18**). Gerçek zamanlı risk değerlendirmesi; olağan dışı durumları tespit etmek, çarpışmayı önleyebilmek için karşı önlemleri almak ve bu önlemler için yeterli zamanı yaratmak açısından önemlidir. Yapılan sonuç analizlerinde, sistemin, köprülerin bulunduğu su yollarında seyir emniyeti açısından olumlu etkiler sağlayabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 2.18: Wu ve diğ. (2019) bulanık mantık tabanlı erken uyarı sistemi çalışma prensibi.

Erken uyarı sistemlerinin verimli bir şekilde uygulanmaya başlanmasıyla, şüphesiz, köprülerin gemilerden kaynaklı kaza riskinin önlenmesi konusunda büyük katkıları olacak, olası kaza risklerinde önemli düşüşler yaşanacaktır. Bu bağlamda, erken uyarı sistemleri de önleyici tedbirler arasında yerini almaktadır.

2.4.2 Gemi-köprü kazaları için uygulanan koruyucu önlemler

Dar kanallar ve boğazlar gibi dar su yolları üzerine inşa edilen köprülerin, gemilerden kaynaklı kaza riskinden korunmaları için alınması gereken birincil tedbirler, önleyici tedbirlerdir. Çünkü oluşacak hiçbir kazanın sıfır kayıpla atlatılması beklenemez, mutlaka gemi ve/veya köprü tarafında bir hasar oluşacak, can, mal ve çevre açısından olumsuz sonuçlar doğabilecektir. Bu sebeple, kazanın oluşma riskini asgari düzeye indirmek adına mümkün olan bütün önleyici tedbirlerin alınması ve eksiksiz uygulanması gerekmektedir.

Ancak, alınan tüm önleyici tedbirlere rağmen, halen gemi-köprü kazaları yaşanmaktadır. Bu durumda bir sonraki adım, kaza kaçınılmazsa, sonuçlarını en aza indirmektir. Gemi-köprü kazalarında can, mal ve çevrenin, kazayı en az hasarla atlatabilmesi için birtakım koruyucu önlemler alınması gerekmektedir. Böylece, kazanın felakete dönüşmesinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Gemi-köprü kazalarında uygulanan koruyucu önlemler şu şekilde sıralanabilir;

- Köprü ayaklarını karaya inşa etme
- Köprü ayaklarını yeterince dayanıklı inşa etme
- Yapay adalar
- Kılavuz yapılar
- Kazık destekli koruyucu yapılar
- Usturmaça koruması
- Dolfın koruması
- Yüzer koruyucu yapılar

Koruyucu tedbirler; köprü ayaklarının bulunduğu bölgenin coğrafi yapısı, iki yaka arasındaki mesafe, derinlik, dip yapısı, köprü açıklığı, seyredilebilir alan genişliği, koruyucu önlemin yapım ve bakım maliyetleri gibi faktörlere göre uygulanabilirlik açısından değerlendirilmektedir.

2.4.2.1 Köprü ayaklarını karaya inşa etme

Köprü ayaklarını gemilerden korumanın en güvenli yolu, köprü ayaklarını karaya inşa etmektir (Svensson H., 2009). Böylece hem gemilerin seyredebileceği su yolunun genişliği daraltılmamış, hem de köprü ayakları gemilerin erişemeyeceği bir noktaya konumlandırılmış olur. Ancak bu durumda, doğal olarak, köprü açıklığının artması

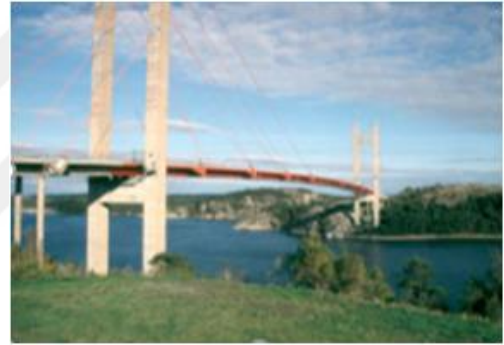
gerekecektir. Dolayısıyla, iki yaka arasındaki mesafe de önemli bir karar verme faktörüdür. Artırılmış köprü açıklığı için doğacak ek maliyetler ile köprü ayağının denizde olması durumunda alınması gereken koruyucu tedbirlerden yapılacak tasarrufların dengesi iyi kurulmalıdır.



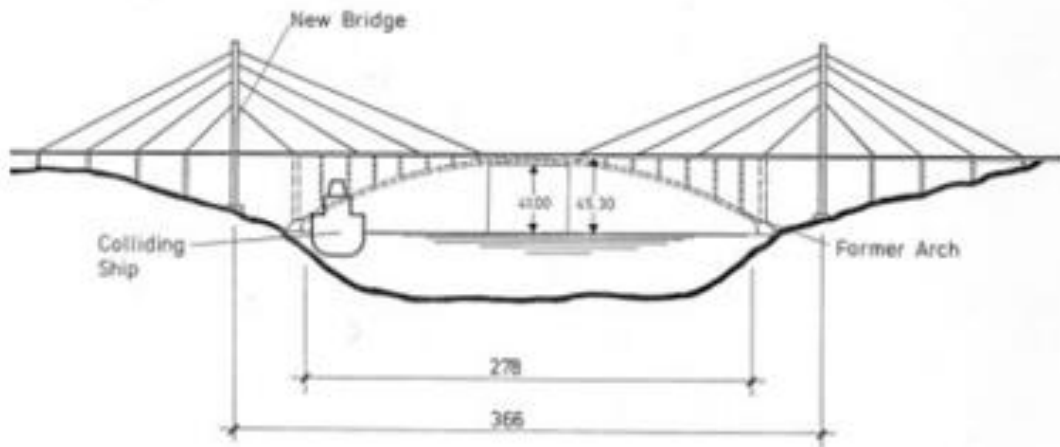
Şekil 2.19: Tjörn Köprüsü'nün eski hali.

ayakları karada konumlandırılarak inşa edilmiştir (Şekil 2.20). Böylece, hem köprü ayakları gemilerin erişemeyeceği bir yere taşınmış, hem 278 metrelik köprü açıklığı 366 metreye çıkartılarak seyredilebilir alan artırılmış (Şekil 2.21), hem de köprü ayaklarının korunması için alınacak tedbirlerden tasarruf edilmiştir.

İsveç'te bulunan Tjörn Köprüsü'nün ayakları, üzerine inşa edildiği su yolunun içerisinde yer almaktaydı (Şekil 2.19). Bir geminin çarpması sonucunda yıkılan köprü, benzer bir kazanın yaşanmaması için bu defa



Şekil 2.20: Tjörn Köprüsü'nün yeni hali.



Şekil 2.21: Eski-Yeni Tjörn Köprüsü.

İstanbul Boğazı, dünyanın en dar ve zorlu su yollarından biridir. Her yıl binlerce ticari geminin geçtiği bu su yolunda, iki yakayı birleştiren üç tane asma köprü bulunmaktadır. Mevcut köprülerin üçü de ayakları karaya konumlandırılarak inşa edilmiş, böylece gemilerin erişimi engellenerek korunması sağlanmıştır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22: İstanbul Boğazı köprüleri.

Öte yandan, zaten dar olan seyredilebilir su yolunun daha fazla daraltılmasının önüne geçilmiş, gemilerin seyir emniyeti korunmuştur.

Sonuç olarak; eğer uygulanabiliyorsa köprü ayaklarının karaya inşa edilmesi, köprü ayaklarını gemilerden kaynaklı kaza riskine karşı koruyabilecek en etkili önlemdir.

2.4.2.2 Köprü ayaklarını yeterince dayanıklı inşa etme

Köprü ayaklarını, gemilerle çatışmasından korumak için kullanılan bir diğer yöntem de onları bir geminin darbesine dayanabilecek kadar güçlü inşa etmektir. Köprülerin kendi ağırlıklarından doğan dikey yükler, gemilerin sebep olacağı yatay kuvvetlere karşı dayanıklılığında önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. Bu tip koruma yönteminde özellikle dip yapısı, derinlik ve maliyet en önemli karar verme etkenleridir. Özellikle çok derin olmayan sert kayalar üzerindeki temellere inşa edilecek köprü ayaklarının çarpışmalara dayanacak kadar dayanıklı inşa edilmesi, bağımsız koruyucu yapılar tasarlamaktan daha ekonomik olabilmektedir (Svensson H., 2009). Ancak bu durumda, köprü ayakları çok sert bir yapıda olduğu için, gemilerin çarpışından doğan

kinetik enerjinin büyük bir bölümü gemi tarafından absorbe edilecek, dolayısıyla, gemi çok daha fazla hasar görecektir. Yani bu yöntem, çarpışmanın şiddetini azaltmaz;



Şekil 2.23: Newport Köprü kazası, gemi hasarı.

şiddetten köprünün daha az, geminin daha fazla pay almasını sağlar. Örneğin; 1981 yılında ABD’de meydana gelen kazada, tam yüklü 45000 dedveyt tonluk bir tanker New Port Köprüsü’ne kafadan çarpmıştır. Kazada geminin pruvası büyük hasar almış ve yaklaşık 3,5 metre göçük oluşmuştur (Şekil 2.23). Öte yandan,

köprü, olası darbelere karşı öylesine dayanıklı inşa edilmiştir ki, yalnızca yüzeysel bir hasara uğramıştır (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: Newport Köprü kazası, köprü hasarı.

Sonuç olarak; köprü ayaklarının darbelere dayanacak kadar güçlü inşa edilmesi, onların gemilerin çarpmasından doğacak hasarını azaltmaya yönelik en etkili koruyucu önlemlerden biridir.

2.4.2.3 Yapay adalar

Dar bir su yolu üzerine inşa edilecek köprülerin ayaklarını gemi çarpmalarının etkilerinden korumak adına yapay adalar inşa edilebilir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25: Kap Shui Mun Köprüsü yapay ada koruması, Hong Kong.

Genel olarak yapay adalar, sert bir dış katman ve kum, taş gibi materyallerden yapılmış bir iç katmandan oluşur. Yapay adalar, gemilerin çarpımlarından doğan şiddeti büyük ölçüde absorbe ederek çarpışmayı kademeli olarak durdurabilmektedir. Ayrıca çarpışmadan doğan enerjiyi gemiyle arasındaki sürtünme, geminin yönünü değiştirme, geminin baş tarafını kaldırma, kendi içindeki sıkışma ve deformasyon, geminin baş tarafında oluşturduğu deformasyon gibi farklı yollara yayarak köprünün göreceği hasarı en düşük düzeye indirir. Çarpışma sonrasında geminin köprü ayağına fiziksel olarak temas edemeyeceği ve ada üzerinden iletilecek olan çarpma kuvvetinin köprü ayağının ve köprü temelinin yanal dayanma kapasitesini aşmayacağı şekilde tasarlanmaktadır (Larsen, 1993). Böylece yapay adalar hem köprü, hem de gemi için oluşabilecek hasarı da kayda değer bir şekilde azaltmaktadır. Yapay adaların uygulanabilirliği için bakılacak ilk şey, gemiler için seyredilebilir alan genişliğinin yeterliliğidir. İnşa edilecek yapay adalar, seyredilebilir su yolu genişliğini gemilerin emniyetli geçişini sınırlandıracak kadar daraltmamalıdır. Ayrıca, su derinliği de yapay adaların uygulanabilirliği açısından önemlidir. Öte yandan, yapay adaların erozyona uğrama ihtimalleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle akıntı hızının yüksek olduğu su yollarında, yapay adaların devamlı erozyonla erimeleri durumunda bakım maliyetleri çok yüksek olacaktır. Ancak, erozyondan korunabilirse ve doğal koşullar yapay ada korumasının uygulanması için elverişliyse, bu yöntem koruyuculuk açısından çok başarılıdır. Çarpışma olması durumunda, yalnızca çarpışmadan etkilenen bölgeye dolgu yapılarak korumanın devamlılığı sağlanabilmektedir.

2.4.2.4 Kılavuz yapılar

Kılavuz yapılar, dar su yolları üzerine inşa edilen köprülerin ayaklarını gemi çatışmalarından korumak amacıyla yapılan önlemlerden biridir. Genel olarak amaçları; kafadan çarpımları engellemekten ziyade, gemilerin köprü ayaklarından uzağa yönlendirilmelerini sağlamaktır.



Şekil 2.26: Crowne Prince Köprüsü, Almanya.

Almanya’da bulunan Crown Prince Köprüsü (Şekil 2.26) ve Neckar Nehri



Şekil 2.27: Neckar Nehri Köprüsü, Almanya.

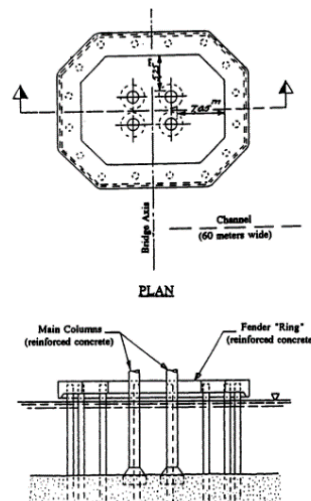
Köprüsü'nün (Şekil 2.27) ayaklarını korumak amacıyla bu koruma yönteminden faydalanılmıştır.

Birbirinden farklı türlerde tasarlanabilen bu yapılar, çoğunlukla küçük ve orta büyüklükteki gemilere karşı korumayı sağlamaktadırlar (Svensson H. , 2009).

2.4.2.5 Kazık destekli koruyucu yapılar

Köprü ayaklarının gemilerle çarpışmalarından doğan hasarını azaltmak için kullanılan koruyucu önlemlerden biri de kazık destekli yapılardır. Köprü ayaklarının önüne inşa edilen bu yapılar farklı tasarımlara sahip olabilmektedir. Genel olarak, dikey kazık grupları üzerinde bunları birleştiren bir kapak görünümündedir. Kazıklar, korumanın kullanılacağı bölgeye ve yapım maliyetlerine göre ahşap, çelik ya da beton gibi materyallerden yapılmaktadır. Üzerlerindeki birleştirici kapak, gemilere karşı ilk darbeyi alacak kadar sağlam olacak şekilde tasarlanır. Zaman zaman önlerine bir usturmaca takviyesi de yapılabilmektedir. Temel prensibi, gemilerle çarpışma esnasında kazıkların esneyerek çarpışmayı yavaşlatması, çarpışma etkisini emmesi, böylece, köprünün ve geminin daha az hasar görmesini sağlamasıdır.

Özellikle iskelelerin ve köprü ayaklarının korunmasında tercih edilen bu koruyucu önlemin birçok örneği bulunmaktadır. Örneğin; Norveç'te bulunan Tromso



Şekil 2.28: Tromso Köprüsü'nde kullanılan kazık destekli koruyucu yapı planı.

Köprüsü'nün ayaklarını korumak için bu koruma yöntemi tercih edilmiştir (Şekil 2.28).

Kazık destekli koruyucu yapılardan, olası bir çarpışma durumunda geminin çarpma kuvvetlerini absorbe ederek gemiyi durdurması ve köprü ayağına çarpmasını engellemesi, durduramaması halinde ise köprüyü etkileyecek olan çarpma kuvvetini köprü ayağının mukavemet gösterebileceği maksimum kuvvetin altına düşürmesi beklenir. Bu bağlamda, uygulanabilir olması halinde etkin bir koruma sağlamaktadır.

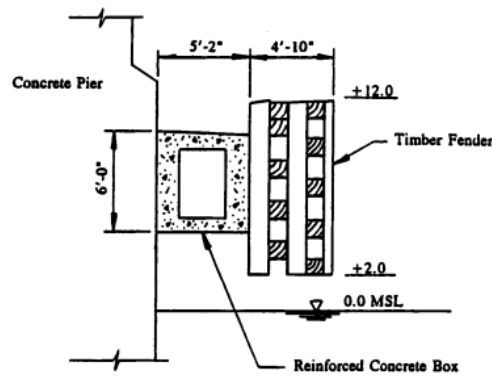
2.4.2.6 Usturmaça koruması

Usturmaça koruması, deniz yapılarında sıklıkla tercih edilen bir koruma yöntemidir. İskele, havuz, rıhtım vb. yapıların yanı sıra, köprü ayaklarını gemilerin çarpmalarına karşı koruması için de tercih edilmektedir. Çoğunlukla korunması istenen yapıya bitişik olarak inşa edilirler. Usturmaçalar yapıldıkları materyallere göre; ahşap, lastik, beton ve çelik usturmaçalar olarak sınıflandırılabilir.

Ahşap usturmaçalar genellikle daha küçük gemilerin çarpmalarına karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çarpışma esnasında ahşap materyal ezilerek çarpma kuvvetlerini absorbe eder ve böylelikle hasarı azaltır. Düşük maliyetleri sebebiyle cazibeli oldukları ancak büyük köprülerin, yüksek tonajlı gemilerden korunması için çoğunlukla yetersiz kalmaktadırlar.

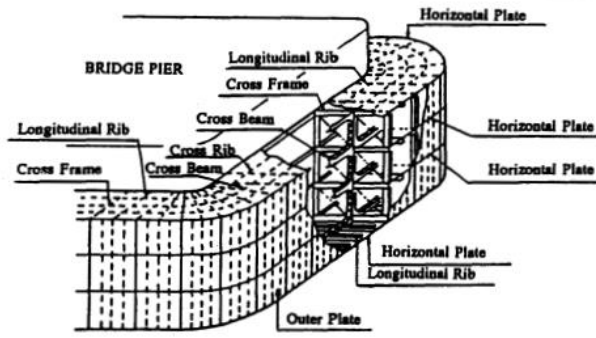
Lastik usturmaçalar da ahşap usturmaçalara benzer şekilde düşük tonajlı gemilere karşı kıyı yapılarını korumak amacıyla kullanılmaktadır. Çarpışmadan doğan enerji, lastik usturmaçaların elastikliği sayesinde lastiğin sıkışması ve bükülmesi yoluyla emilir. Yine bu usturmaçalar da büyük köprülerin, yüksek tonajlı gemilere karşı korunmasında yetersiz kalabilmektedir.

Beton usturmaçalar, genellikle, içi boş, dışı beton bir duvardan oluşan, ön yüzünde ahşap ya da lastik usturmaçalarla takviye edilebilen ve daha yüksek çarpma şiddetlerine karşı koruma sağlayabilen bir yapıdadır (Şekil 2.29). Çarpışma esnasında, beton



Şekil 2.29: Amerika'daki Francis Scott Key Köprüsü'nde kullanılan beton usturmaça planı.

bloğun ezilmesi ile geminin çarpma enerjisi absorbe edilir. Büyük köprülerin, yüksek tonajlı gemilere karşı korunmasında beton usturmaçalardan faydalanılabilmektedir.



Şekil 2.30: Japonya'daki Bisan-Seto Köprüsü'nde kullanılan çelik usturmaça planı.

Çelik usturmaçalar, köprü ayaklarına bitişik, içi boş, dışı çelik ve güçlendirilmiş destek elemanlarından oluşan usturmaçalardır. **Şekil 2.30'**da Japonya'daki Bisan-Seto Köprüsü'nde kullanılan çelik usturmaçalara ait plan örneği gösterilmiştir (Matsuzaki & Jin,

1983). Gemilerin çarpmasından doğan enerji, çeliğin sıkışması ve bükülmesi ile emilir. Çarpışma esnasında gemi sacına temasından dolayı kıvılcım çıkmasını engellemek için genellikle ahşap bir plakayla kaplanmaktadır. Köprülerin yüksek tonajlı gemilere karşı korunmasında bu usturmaçalardan faydalanılabilmektedir.

Ayrıca, geleneksel çelik usturmaçaların güçlendirilmiş beton bir panel ile takviye edilmesiyle çok daha dayanıklı usturmaçalar üretilmesiyle ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Wei Fan ve diğerleri (2015) tarafından yapılan simülasyonlar, güçlendirilmiş beton panelin, usturmaçanın koruyucu performansını etkili bir biçimde artırdığını göstermiştir.

Sonuç olarak, kullanım alanlarına ve yapım maliyetlerine göre, farklı ebatlarda, farklı materyallerden ve farklı şekillerde tasarlanabilen usturmaçaların ortak özelliği darbelerden doğan enerjiyi kendisi emerek hem gemilerin hem de köprülerin çarpışmadan daha az etkilenmesini sağlamalarıdır. Usturmaça koruması, tüm bu özellikleri sebebiyle, köprü ayaklarının gemilerin çarpmasına karşı korunmasında etkili bir koruyucu önlemdir.

2.4.2.7 Dolfin koruması

Köprü ayaklarının gemilerin çarpmalarına karşı korunmaları için tercih edilen bir diğer yöntem de büyük çaplı dolfinlerin kullanımıdır (Larsen, 1993). Genel olarak dolfinler; içi taş veya betonla doldurulmuş, çelik kazıklarla desteklenen ve üzerinde beton bir kapak bulunan dairesel yapılardır (**Şekil 2.31**). Kullanılacağı alanda inşa edilebilmekte veya karada yapımı tamamlandıktan sonra kullanım alanına taşınabilmektedir.



Şekil 2.31: Brezilya'daki Rio-Niterio Köprüsü'nde kullanılan dolfın koruması (Fotoğraf: Niels Jlrger Gimsing).

Dolfinlerin temel amacı, çarpışma esnasında doğan enerjinin yönlendirilerek farklı yollara dağıtılmasını sağlamaktır. Çarpışma enerjisi; geminin pruvasının ezilmesi, pruvanın dolfinin üzerine doğru kalkması, dolfin ve gemi arasındaki sürtünme, geminin dolfinle temasından sonra yön değiştirmesi, dolfinin çarpışma sonrası dönüşü ve yer değiştirmesi, dolfinin kendi gördüğü hasar ile enerjinin bir kısmının absorbe etmesiyle farklı yollara doğru yönlendirilerek geminin durması ve köprünün korunması sağlanmaktadır.

Daha önce 4. bölümde bahsedilen Sunshine Skyway Köprüsü'nün bir gemi çarpması nedeniyle çökmesinden sonra, yeni yapılan köprünün ayaklarını korumak üzere dolfin koruması kullanılmıştır



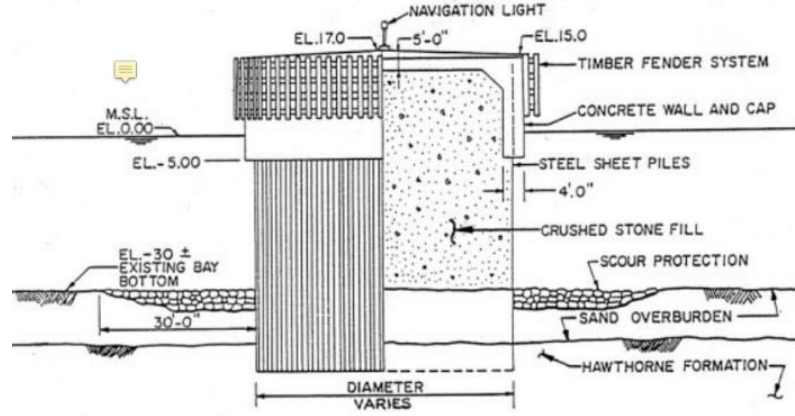
(Şekil 2.32, Şekil 2.33).

Şekil 2.32: Yeni yapılan Sunshine Skyway köprüsünde dolfın koruması.

Yapılan dolfinler, yüklü

27000 dedveyt ton veya boş 87000 dedveyt tonluk bir geminin çarpmasına dayanacak şekilde tasarlanmıştır (Svensson H., 2009).

Dolfin koruması, köprü ayaklarının gemilerin çarpmasından kaynaklanan zararını önlemek veya azaltmak için kullanılan etkin bir koruyucu önlemdir.



Şekil 2.33: Yeni yapılan Sunshine Skyway köprüsünde dolfın koruması detayları.

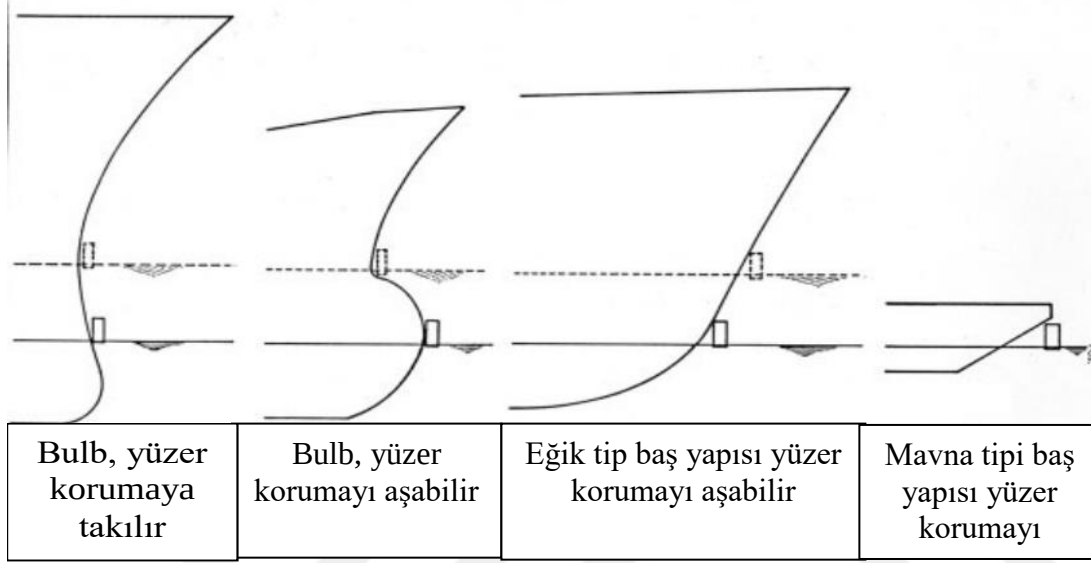
2.4.2.8 Yüzer koruyucu yapılar

Yüzer koruyucu yapılar, köprü ayaklarının gemi çarpmalarından korunmaları için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yapıların çeşitli yapılış ve kullanılış biçimleri bulunmaktadır. Örneğin; köprü ayaklarının önünde bulunan birden fazla şamandıranın arasına asılan bir kablo ağı sistemi yardımıyla gemilerin yavaşlatılması ve durdurulması sağlanabilir (Oda & Kubo, 1983). Yine köprü ayaklarının önüne konumlandırılan ve çapalar yardımıyla dibe sabitlenen büyük yüzer dubalar da kullanılan yüzer koruyucu yapılardandır (Mondorf, 1983). Çarpışma esnasında bu büyük yüzer dubalar enerjinin bir kısmını absorbe ederek ve geminin yön değiştirmesiyle enerjinin dağıtılmasını sağlayarak köprünün görebileceği olası hasarı azaltmaktadır. Suyun dibine sabitlenen yüzer bomlar da köprü ayaklarının korunmasında kullanılmaktadır (Larsen, 1993). Örneğin; Arjantin’de bulunan Zarate Braze-Largo Köprüsü’nün ayaklarını gemilerden korumak amacıyla yüzer bir koruma sistemi tasarlanmış ve deniz dibine sabitlenmiş yüzer platformlar kurulmuştur (Şekil 2.34).



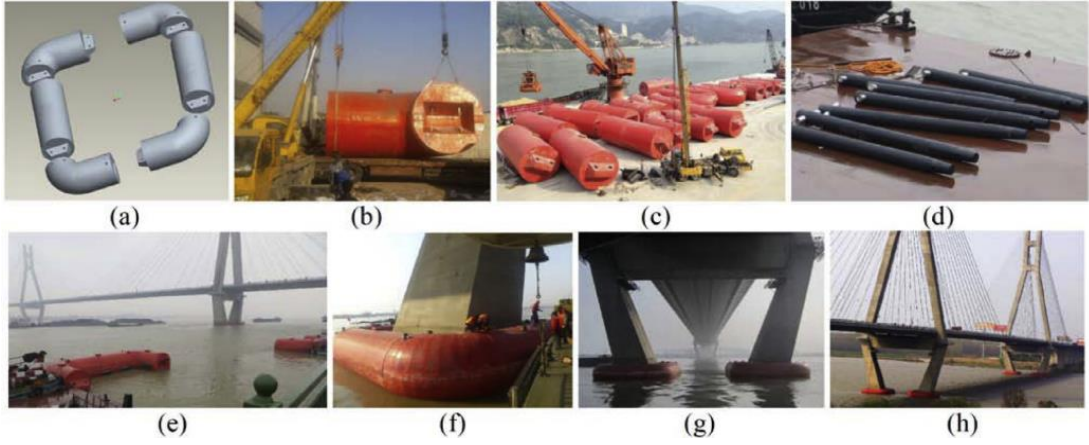
Şekil 2.34: Zarate Braze-Largo Köprüsü, yüzer koruma.

Bu tip korumalardaki en büyük dezavantajlardan biri, yapıları deniz dibine sabitlemek için kullanılan çıpa, zincir vb. ekipmanların maruz kaldığı korozyon ile bunların takip edilmesindeki ve yenilenmesindeki güçlüklerdir. Öte yandan, bu tip yüzer yapılar, gemilerin baş tarafının dizaynına ve gemilerin büyüklüğüne bağlı olarak çökme, böylece gemilerine altında kalma riskini de taşımaktadır. Bu durumda gemiler bu yüzer platformların üzerinden atlayarak doğruca köprü ayaklarına çarpabilir (Şekil 2.35).



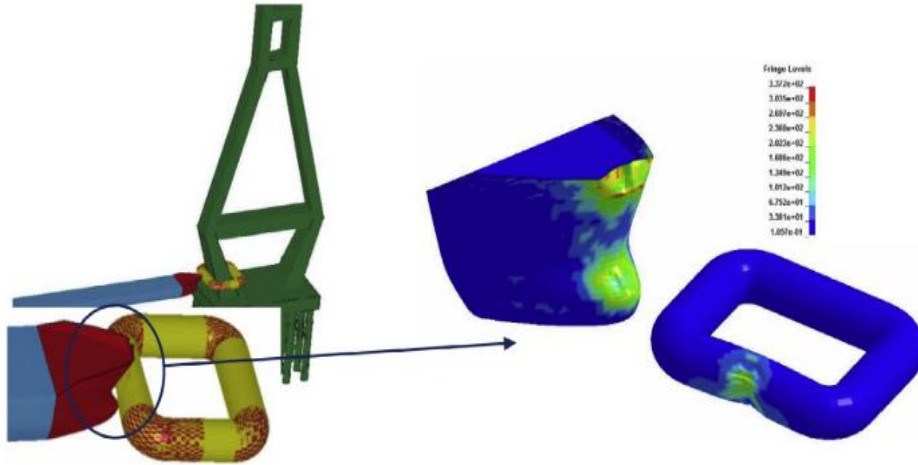
Şekil 2.35: Gemilerin yüzer platformları pas geçme riski.

Son yıllarda geliştirilen ve kullanımına başlanan bir diğer yüzer koruma sistemi de büyük ölçekli kompozit tampon sistemi (LCBS)'dir. Nanjing Tech Üniversitesi tarafından geliştirilen bu sistem köprü ayakları için etkin bir koruma sağlamaktadır (Fang ve diğ., 2016; Zhu ve diğ., 2019). LCBS; köprü ayaklarının çevresini saran, kendi kendine yüzebilen, güçlendirilmiş bir yapıya sahip büyük tamponlardan oluşan bir sistemdir. Bünyesinde bulunan seramik partiküller sayesinde yüksek dayanıklılığa sahip olan LCBS, çarpışma esnasında kendi içerisindeki kırılmalar ve sıkışmalar ile çarpışma enerjisini absorbe ederek köprü ayağının korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu seramik partiküllerin düşük maliyetli ve düşük yoğunluklu olmaları da uygulanabilirlik açısından önemli bir avantajdır. Öte yandan, LCBS, kurulum kolaylığı açısından da avantajlıdır. Parçalarının yapımı karada tamamlandıktan sonra uygulanacağı yere getirilerek birkaç gün içerisinde kurulumu tamamlanabilmektedir (Şekil 2.36).



Şekil 2.36: LCBS kurulum aşamaları.

Birden fazla parçadan oluşması sayesinde, hasar alması durumunda sistemin tamamen değiştirilmesine gerek yoktur. Bu açıdan, bakım ve değişim kolaylığı bulunmaktadır. Yapılan simülasyon ve modellemeler neticesinde, LCBS'nin çarpışma süresini uzatarak, çarpışma enerjisini önemli ölçüde dağıttığı ve köprüye etki eden çarpışma kuvvetini azaltarak etkin bir koruma sağladığı görülmüştür (Şekil 2.37).



Şekil 2.37: LCBS için FE (Finite Element) modellemesi.

LCBS'nin kullanımına daha çok Çin'de bulunan köprülerde rastlanmaktadır. Örneğin; Huanggang railway Yangtze River Bridge, Langqi Min River Bridge, Chongqi Yangtze River Bridge, Guangshen Highway Bridge, Maanshan Yangtze River Bridge, Xiangtan Xiang River Bridge köprülerinin ayakları için koruyucu önlem olarak LCBS uygulanmıştır.

Sonuç olarak, yüzer koruma yapıları köprü ayaklarının gemilerden korunmasında kullanılan yöntemlerden biridir, ancak etkinliği açısından bakım maliyetleri ve tasarımlarının doğru planlanması büyük önem taşımaktadır.

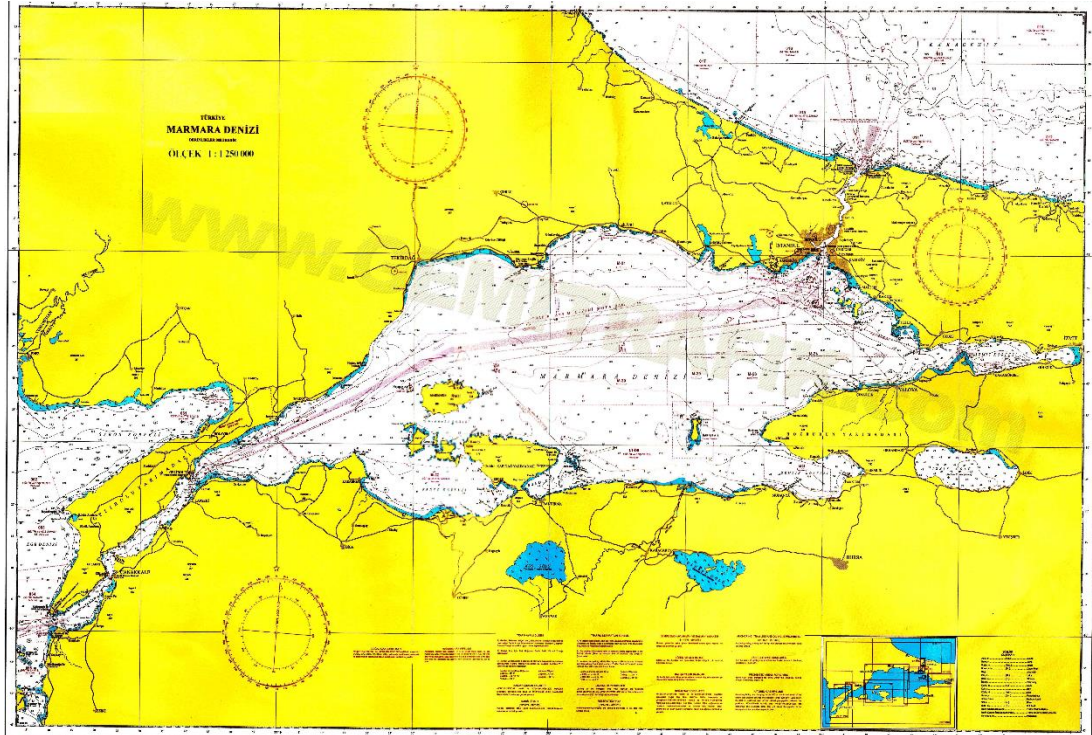


3 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ'NDE GEMİ-KÖPRÜ KAZALARINA KARŞI KORUYUCU VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLER

3.1 Türk Boğazları

3.1.1 Genel bilgiler

Türk Boğazları kavramı; kuzeyde İstanbul Boğazı, güneyde Çanakkale Boğazı ve bu boğazlar arasındaki bağlantıyı sağlayan, bir iç deniz özelliği gösteren Marmara Denizi'nden oluşan toplamda 164 deniz mili uzunluğundaki bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 3.1). Türk Boğazları gerek stratejik özellikleri gerekse jeopolitik konumu itibarıyla çok büyük bir öneme sahiptir. Akdeniz ile Karadeniz'in tek su yolu bağlantısı özelliğine sahip olan Türk Boğazları, binlerce yıldır bu önemini korumaktadır. Dolayısıyla, Karadeniz ülkelerini dünya pazarına bağlayan ana ticaret güzergahı da Türk Boğazları'dır.



Şekil 3.1: Türk Boğazları.

Tüm bu özelliklerinden ötürü Türk Boğazları bölgesi; binlerce yıl boyunca birçok devletin, birçok imparatorluğun sahip olmak istediği bir yer olmuştur. Çünkü bu bölgeye hâkim olmak demek, aynı zamanda denizyolu olarak Akdeniz-Karadeniz bağlantısına, karayolu olarak da Asya-Avrupa bağlantısına hâkim olmak demektir.

Bugün bilinen tarihi, İstanbul'da yapılan son kazılarda bulunan Neolitik Çağ kalıntılarıyla birlikte 8500 yıl öncesine kadar uzanmaktadır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019). Yine Türk Boğazları bölgesinin bir parçası olarak İstanbul Boğazı'nın kıyı hattını oluşturan İstanbul şehri, günümüze kadar Roma İmparatorluğu, Bizans İmparatorluğu, Osmanlı İmparatorluğu gibi dünya tarihine yön vermiş uygarlıklara başkentlik yapmış ve sahip olduğu bu büyük tarihi önemi sebebiyle UNESCO tarafından "Dünya Kültür Mirası" olarak kabul edilmiştir (UNESCO, 2020).

Türk Boğazları aynı zamanda, 83.154.997 kişilik nüfusa sahip olan Türkiye'nin 15.519.267 kişilik nüfusuyla en kalabalık şehri olan İstanbul'un ve yaklaşık 25 milyonluk nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık bölgesi olan Marmara Bölgesi'nin içerisinde geçmektedir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020). Bu bağlamda, Türk Boğazları bölgesinin emniyeti sadece stratejik bakımdan değil, etkilediği insan popülasyonu açısından da büyük önem taşımaktadır.

3.1.2 Türk Boğazları'ndan geçiş rejimi

Türk Boğazları, bütünü itibariyle Türkiye'nin kara sınırları içerisinde geçmektedir, Türkiye'ye ait bir bölgedir ve ulusaldır. Ancak bulunduğu konum ve sahip olduğu stratejik önem sebebiyle hem dünya ticareti hem de dünya siyaseti açısından uluslararası bir öneme sahiptir. Akdeniz ve Karadeniz arasındaki tek su yolu bağlantısını sağlayan bu bölge, Karadeniz ülkelerinin dünya pazarına bağlantısında en önemli rolü üstlenmesinin yanı sıra, yine Karadeniz ülkelerinin askeri güvenliğini sağlama konusunda da önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, gemilerin Türk Boğazları'ndan geçişleri birtakım kurallara ve düzenlemelere tabi tutulmuştur.

3.1.2.1 Montrö Boğazlar Sözleşmesi

Montrö Boğazlar Sözleşmesi, 20 Temmuz 1936 yılında İsviçre, Montreux'da imzalanan ve İstanbul Boğazı ile Çanakkale Boğazları'ndan geçecek olan ticari ve askeri gemilerin geçiş koşullarını düzenleyen çok taraflı ve uluslararası bir sözleşmedir. Bulgaristan, Fransa, Büyük Britanya, Avustralya, Yunanistan, Japonya, Romanya, Sovyetler Birliği, Yugoslavya ve Türkiye tarafından imzalanan Montrö

Boğazlar Sözleşmesi'yle Türk Boğazları'nın egemenlik haklarının sahibi olarak Türkiye kabul edilmiştir. Bu sözleşme günümüzde halen yürürlükte olup, Türk Boğazları'ndan geçen gemiler için Türkiye tarafından uygulanmaya devam etmektedir.

Sözleşmeye göre ticari ve askeri gemilerin Türk Boğazları'ndan geçişleri; barış zamanında, savaş zamanında ve Türkiye'nin kendisini pek yakın bir savaş tehdidi altında sayması durumunda olarak farklı dönemler üzerinden kurallara bağlanmıştır.

Bu sözleşme kapsamında ticaret gemileri, barış zamanında, Türk Boğazları'ndan serbestçe geçebilmektedir. Bu gemilerden yalnızca Türk makamları tarafında uygun görülen veri ve harçlar alınmakta, kılavuzluk ve yedekçilik ise isteğe bağlı bırakılmaktadır. Gemiler seyir emniyeti açısından, boğaza varışlarından belirtilen süreler öncesinde, gemi adı, IMO numarası, bayrak devleti, kalkış-varış limanları, yük-yakıt miktarı, acenta, kılavuzluk ve yedek talepleri, geminin manevra özellikleri vb. bilgileri yetkili makamlara SP1 (Seyir Planı-1) raporu ile bildirmektedir (Madde 2). Ayrıca gemilere, boğazlara girişlerinden önce, uluslararası sağlık kuralları çerçevesinde sağlık denetimleri yapılmaktadır (Madde 3).

Ticaret gemileri, savaş zamanında, Türkiye savaştan değilse, yine aynı şekilde geçiş özgürlüğünden yararlanabilmektedir (Madde 4). Eğer Türkiye savaştan, Türkiye ile savaşta olan bir devlete ait olmayan ticaret gemileri, düşman ülkelere yardım etmemek koşuluyla, Türkiye'nin yetkili makamlarınca belirtilen rotadan ve yalnızca gündüz geçiş yapabilmektedir (Madde 5).

Türkiye'nin kendisini pek yakın bir savaş tehdidi altında saydığı durumlarda, ticaret gemileri, ait oldukları ülke ayrımı yapılmaksızın yine Türk Boğazları'ndan geçiş özgürlüğüne sahiptir. Ancak geçişlerini gündüz ve Türkiye'nin yetkili makamlarınca belirtilen rotadan yapabilmektedir. Bu durumda kılavuzluk ve yedekçilik hizmetleri zorunlu kılınabilmekte ancak ücrete tabi tutulmamaktadır (Madde 6).

Savaş gemilerinde ise durum farklıdır. Türk Boğazları'nı kullanacak olan savaş gemilerinin geçişlerinde, geçiş maksatları, Karadeniz'e kıyıdaş ülkelere ait olup olmamaları, tonajları, sayıları, gemi tipleri, hali hazırda Karadeniz'de mevcut olan askeri gemi tonajı gibi kriterler önem arz etmektedir.

Buna göre, Karadeniz'e kıyısı bulunan ülkeler, yaptırdıkları ya da satın aldıkları denizaltılarını filolarına katılmaları maksadıyla ya da mevcut denizaltılarını Karadeniz

dışında tersanelere göndermeleri maksadıyla, belirtilen süreler öncesinde bildirmeleri koşuluyla, gündüz, tek başlarına ve su üzerinden seyrederek, Türk Boğazları'ndan geçirebilmektedirler (Madde 12).

Boğazlardan transit geçişine izin verilen gemilerin sayısının 9'dan ve tonajının 15.000 tondan fazla olmasına izin verilmemektedir (Madde 14). Ayrıca taşımakta oldukları hava araçlarını da yine sözleşme maddeleri gereği kullanamamaktadırlar (Madde 15).

Öte yandan sözleşme içerisinde, barış zamanında, Karadeniz kıyıdaşı olmayan devletlerin savaş gemileri için, geçiş maksatlarına ve Karadeniz'de var olan diğer deniz kuvvetlerinin mevcut güçlerine göre belirli kısıtlamalar da bulunmaktadır. Türkiye'nin içinde bulunduğu savaş zamanlarında ya da Türkiye'nin kendisini pek yakın bir savaş tehdidi altında saydığı durumlarda, Türkiye diğer ülkelerin savaş gemilerinin Türk Boğazları'ndan geçmesine izin vermeme hakkına sahiptir.

Genel olarak bakıldığında bu sözleşme, özellikle Karadeniz'e kıyısı olan ülkelerin askeri güvenliğini sağlamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Öte yandan, boğazların mutlak egemenliğin Türkiye'ye ait olduğunun bir tescilidir. Akdeniz-Karadeniz arasındaki huzur, barış ve güven ortamının tesisi için bir garantidir. Bu sözleşmeyi imzalayan her devletin, sözleşme yürürlüğü girdikten sonra her beş yıllık periyotlarda, sözleşmenin bir ya da birkaç maddesini değiştirme talebinde bulunabilme hakkına sahip olmasına rağmen bugüne kadar hiçbir devletten talep gelmemiştir ve Montrö Boğazlar Sözleşmesi mevcudiyetini halen korumaktadır.

3.1.2.2 Türk Boğazları'nda yapılan ulusal düzenlemeler ve Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği

Montrö Boğazlar Sözleşmesi, Türk Boğazları'ndan geçecek olan gemilerin içinde bulunulan zamanın koşullarına göre serbest geçiş haklarının bulunup bulunmama durumunu ve geçiş koşullarını belirten, daha çok güvenlik odaklı bir sözleşme özelliği göstermektedir. Ancak bu sözleşme, dünyanın en zorlu su yollarından biri olarak kabul edilen Türk Boğazları'ndan geçmekte olan gemilerin seyir emniyeti, çevrenin ve insan hayatının korunması konularında yetersiz kalmaktadır.

Önceleri, Türk Boğazları'ndan geçen gemiler, seyir emniyeti açısından Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'nde bulunan "Dar Kanallar" (COLREG Kural 9) kuralına göre seyirlerini gerçekleştirmekteydi. Bu kural Türk Boğazları gibi dünya deniz ticareti açısından kilit bir rolü bulunan, her yıl binlerce geminin milyonlarca ton yük

birlikte geçtiği, kıyılarında milyonlarca insanın yaşadığı, her bir karışı köklü bir tarih barındıran ve tüm bunların yanında seyir açısından bu denli zorlu olan bir su yolu için seyir, çevre ve canlı yaşamının emniyetleri açısından son derece yetersiz kalmakta ve ek düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktaydı.

Türk Boğazları ile ilgili yapılan ilk düzenleme 19 Kasım 1965'te yürürlüğe giren İstanbul Liman Tüzüğü'dür. Ancak bu tüzük de uygulamada yetersiz kalmıştır.

Nitekim, zaman içerisinde yaşanan acı tecrübeler de bu ihtiyacı gözler önüne sermiştir. 1979 yılında meydana gelen Independenta tanker kazası bunun en büyük örneklerinden biridir. Libya'dan yüklediği 94600 ton ham petrol yükünü Romanya'ya taşımakta olan, Romen bandıralı tanker gemisi "Independenta", 15 Kasım 1979 günü sabah saatlerinde, Haydarpaşa Limanı'nın yaklaşık 800 metre açıklarında, Karadeniz yönünden gelmekte olan Yunan bandıralı "Evriyalı" adlı kuru yük gemisiyle çatışmış ve büyük bir patlama meydana gelmiştir. Patlama sonrası çıkan büyük yangınla birlikte gemi tamamen yanmış, 43 mürettebat hayatını kaybetmiştir. Yangın 27 gün boyunca söndürülememiş, geminin taşıdığı ham petrolün büyük bir kısmı 5,5 kilometre çapında bir alana yayılmıştır (Zubaidah & Ramlee, 2013). Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen veriler, bölgede bulunan deniz canlılarındaki kirlilik sebebiyle ölüm oranının %96'lara ulaştığını göstermektedir. Ayrıca yoğun petrol sızıntısı sebebiyle deniz yüzeyinde oluşan siyah tabakanın oluşturduğu görüntü kirliliğinin yanı sıra, yanan ham petrolün sebep olduğu hava kirliliğinden dolayı çevrede yaşayan milyonlarca canlı da etkilenmiştir (Baykut ve diğ., 1985).

Türk Boğazları'nda yaşanan gemi kazalarından en çarpıcısı Independenta tanker kazasıdır, ancak bunun gibi birçok kaza örneği bulunmaktadır. Hal böyleyken, Türkiye, Türk Boğazları için yeni ek düzenlemeler yapma gerekliliğinin farkına varmış ve bu yolda birtakım adımlar atmıştır. 1982 yılında, Türk Boğazları bölgesinin seyir emniyetini sağlamak amacıyla İstanbul Liman Tüzüğü ve Çanakkale Liman Tüzüğü oluşturulmuştur. Bu tüzüklerde İstanbul ve Çanakkale Liman Bölgelerinin sınırları, gemilerin demirleme, kılavuzluk ve yedekçilik hizmetlerinden yararlanma şartları belirtilmiş, çeşitli istisnalar yer almıştır (T.C. Resmi Gazete, 1982). Oluşturulan bu tüzüklerin, gelişen ve değişen deniz ulaştırma teknolojisi karşısında yetersiz kalması sebebiyle 1996 yılında İstanbul Liman Tüzüğü adıyla yeni bir tüzük olarak yürürlüğe girmiştir (T.C. Resmi Gazete, 1996).

1987 yılında Türk Uzakyol Kaptanları Derneği tarafından Türk Boğazları'ndan geçecek gemilere uygulanmak üzere bir trafik ayırım düzeni önerisi oluşturulmuş ve Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'na bir rapor olarak sunulmuştur. 1990 yılında oluşturulan bir komisyon tarafından bu rapor incelenmiş ve Türk Boğazları'nda seyir, can ve çevre emniyeti açısından yeni düzenlemelerin gerekli olduğuna karar verilmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan “Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü” 11 Ocak 1994 yılında kabul edilmiştir (T.C. Resmi Gazete, 1994).

Aynı zamanda, 1993 yılında düzenlenmiş olan 62. Deniz Emniyeti Komitesi (MSC-62)'nde, Türk Hükümeti tarafından Türk Boğazları'nda uygulanması istenen trafik ayırım düzeni önerisi sunulmuş, 24 Kasım 1994 tarihindeki 63. Deniz Emniyeti Komitesi (MSC-63)'nde bu düzenlemeler 39. NAV (Seyir Güvenliği Alt Komitesi) Raporunda yer almış ve “Rules and Recommendation on Navigation through the Strait of Istanbul, the Strait of Çanakkale and the Marmara Sea” adıyla Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından da kabul edilerek uygulanması kararı alınmıştır.

Ancak 1994 tarihli Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği'nde, tehlikeli yük taşıyan büyük ticari gemilerin boğazlardan geçişleri sırasında aynı nitelikli başka gemilerin boğazdan geçişlerine izin verilmemesi ya da geçişlerinin kısıtlanması (Madde 42 ve Madde 52), akıntının artması, görüş uzaklığının azalması gibi durumlarda boğazların gemi geçişlerine kapatılması (Madde 40, 41, 51) gibi maddeler özellikle Karadeniz'in en büyük devleti olan Rusya'yı rahatsız etmiş ve süreç içerisinde yeni bir tüzüğün hazırlanması gündeme gelmiştir (Turan, 2004).

Böylece, 6 Kasım 1998 yılında yeni “Türk Boğazları Deniz Trafik Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir. Yeni tüzükte 1994 tarihli tüzüğün getirdiği birtakım kısıtlamalar hafifletilmiştir. Geçiş kısıtlamalarında gemilerin boylarını belirten büyük gemi kavramı 150 metrelik gemiler yerine 200 metrelik gemileri kapsayacak şekilde değiştirilmiştir. Öte yandan, transit geçiş kavramı yerine “uğraksız geçiş” kavramı tüzükte yerini almıştır. Yine bu tüzükle, boğazlardan geçişlerin daha güvenilir ve emniyetli olması amacıyla gemilerden yapması istenen raporlamaların detaylarına yer verilerek SP-1 Raporu adı altında açıklanmıştır. Ayrıca boğaz girişlerini 2 saat ya da 20 mil kala gemilerin vermeleri gereken SP-2 Raporunun detaylarına da yer verilmiştir (T.C. Resmi Gazete, 1998).

Türk Boğazları ile ilgili yapılan son ulusal düzenlemeyle 1998 tarihli Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği yürürlükten kaldırılmış ve 15 Ağustos 2019 tarihli yeni Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Türk Boğazlarında seyir emniyeti ile can, mal, deniz ve çevre güvenliğini sağlamak amacıyla deniz trafik düzenlemesini gerçekleştirmek için hazırlanmış olan ve Türk Boğazlarında seyir yapacak tüm gemileri kapsayan bu yönetmelik bugün halen uygulanmaya devam eden en güncel ulusal düzenlemedir.

Bu yönetmeliğe göre, Türk Boğazları'ndan geçecek olan gemiler için uygulanmakta olan güncel geçiş düzenleme ve koşulları genel olarak şu şekildedir;

- Türk Boğazları trafik ayırım düzeni ve sınırları belirtilmiştir (Madde 4)
- Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri Sistemi hakkında bilgi verilmiştir (Madde 5)
- Türk Boğazları'ndan geçecek gemilerin mevzuatlara uygun bir şekilde denize elverişli olma zorunlulukları, gemilerin teknik bakımdan yeterli olma zorunlulukları bulunmaktadır (Madde 6)
- Gemilerin boğazlara girişlerinden belirtilen süreler öncesinde, istenen format içerisinde vermesi zorunlu olan raporları (SP-1 ve SP-2 Raporları, Mevki Raporu, Çağırma Noktası Raporu, Marmara Raporu) ayrıntılarıyla belirtilmiştir (Madde 7)
- Emniyetli seyir yapamayacak olan gemilerin yapması gereken ön bildirimler belirtilmiştir (Madde 8)
- Kılavuz kaptan alan veya uğraksız geçiş yapan gemilerin geçişleri esnasında göstermeleri gereken flama ve fenerler belirtilmiştir (Madde 9-10)
- Uğraksız geçen gemilerin demirleme şartları açıklanmıştır (Madde 11)
- Üçüncü bölümde geçiş öncesinde ve geçiş sırasında alınması gereken tedbirler belirtilmiş, olası arıza, kaza gibi durumlarda yapılması gerekenler bildirilmiştir.
- Dördüncü bölümde trafik ayırım şeridinde seyretme güçlüğü olan gemiler ve nükleer güçle yürütülen, nükleer yük veya atık taşıyan, tehlikeli ve/veya zararlı yük veya atık taşıyan gemiler için özel geçiş koşulları açıklanmıştır.
- Beşinci bölümde İstanbul Boğazı ve altıncı bölümde Çanakkale Boğazı için trafik ayırım düzeni sınırları, özel geçiş şartları, yerel deniz trafiğinin trafik ayırım düzeni içerisindeki durumu, kılavuzluk hizmetleriyle ve sağlık

denetimleriyle ilgili açıklamalar, akıntının artması ve görüş uzaklığının düşmesi gibi durumlarda uygulanacak olan geçiş kısıtlamaları bildirilmiştir.

3.1.2.3 Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri

Türk Boğazları'ndan geçen gemilerin seyirlerini en emniyetli şekilde sağlayabilmeleri, olası can ve mal kayıpları ile çevre felaketlerinin önlenmesi, ve böylece boğazın tarihsel dokusuna da herhangi bir zarar gelmemesi adına yapılan yönetmelikler ve tüzükler gibi ulusal düzenlemelerin yanında, gemilerin boğazlardan geçişlerinde doğru, etkin ve hızlı bilgi akışının sağlanarak teknolojik güven ortamını tesis etmesi amacıyla “Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH)”nin oluşturulmasının gerekliliği gündeme gelmiştir. Milli Güvenlik Kurulu'nun 27.12.1995 tarih ve 388 sayılı tavsiye kararıyla gündeme gelen bu ihtiyaç, 24.07.1996'da Bakanlar Kurulu'nun 96/8370 sayılı kararıyla Denizcilik Müsteşarlığı'nın yatırım programına alınmış ve 1998 yılında ihaleye çıkmıştır (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2020). 1 Temmuz 2003 tarihinde inşaatı, ekipman ve personel donatımı tamamlanarak açılışı yapılan TBGTH, 30 Aralık 2003 tarihinden itibaren operasyonel olarak hizmetlerini vermeye başlamıştır. 2008 yılından itibaren Marmara Denizi'nden geçişleri esnasında da gemilere hizmet vermeye başlamıştır.

Türk Boğazları'nda teknolojik güven ortamını tesis eden Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH), gemilerin Türk Boğazları bölgesinden geçişleri boyunca;

- Deniz trafiği, diğer gemilerin hareketleri, bölgeyle ilgili güncel seyir uyarıları, gemilerin seyrini etkileyebilecek mevcut meteorolojik durum gibi bilgileri içeren **“bilgi hizmeti”**ni,
- Gemilerin geçişlerini Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği kapsamında gerçekleştirmelerini sağlamak amacıyla gereken uyarılar, geçiş esnasında takip edilecek sıra, seyredilmesi gereken sürat, planlı ve anlık değişiklikler gibi operasyonel bilgileri içeren **“trafik organizasyonu hizmeti”**ni,
- Geçiş esnasında oluşabilecek olası anlık teknik arıza, kaza, meteorolojik güçlükler gibi durumlarda gemilerin seyir emniyetlerini koruyucu bilgileri içeren **“seyir yardımı hizmeti”**ni, gemilere sağlamaktadır (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2020).

TBGTH, 37 mil uzunluğundaki Çanakkale Boğazı, 110 mil uzunluğundaki Marmara Denizi ve 17 mil uzunluğundaki İstanbul Boğazı'nı kapsayan toplamda 164 deniz mili uzunluğundaki; keskin dönüşleri, şiddetli akıntıları, yoğun deniz trafiğiyle, her gün onlarca tehlikeli madde taşıyan geminin geçiş yaptığı, kıyılarında köklü bir tarihi ve milyonlarca insanı barındıran bu zorlu su yolu boyunca, gemilerin seyirlerini en emniyetli şekilde yapmalarına yardımcı olarak bölgede can, mal ve çevre emniyetini sağlamak amacıyla 7 gün 24 saat kesintisiz hizmet vermektedir.

3.2 Çanakkale Boğazı ve 1915 Çanakkale Köprüsü

3.2.1 Çanakkale Boğazı

Avrupa ile Asya kıtaları arasında uzanan ve uluslararası deniz taşımacılığındaki en zorlu dar su yollarından biri olan Çanakkale Boğazı, toplamda 164 mil uzunluğundaki Türk Boğazları geçiş rotasının 37 millik güney bölümünü oluşturmaktadır. Boğazın en dar yeri 7 gomina genişliğindeki Kilitbahir-Çanakkale mevkîsidir. Bu mevkî aynı zamanda 106 metreyle boğazın en derin yeridir. Aynı zamanda, yaklaşık 540.000 nüfuslu Çanakkale şehir merkezinin kıyısında yer almaktadır (Eurostat, 2019). Bu açıdan bakıldığında boğazın en riskli bölgelerinden biri de yine bu mevkîdir. Boğazın en geniş yeri ise yaklaşık 4,4 mil genişliğindeki İntepe-Domuz Deresi arasındır. Marmara girişinde boğazın genişliği 1,9 mil iken, Ege girişinde 1,7 mildir. Boğazın ortalama derinliği 60 metredir (İlgar, 2015). İçerisinde yüzlerce canlı türünü barındıran boğaz, onlarca balık türünün de Akdeniz-Karadeniz arasındaki göç yolu üzerindedir. Bu açıdan ekolojik olarak da büyük önem taşımaktadır.

Çanakkale Boğazı, coğrafi yapısından kaynaklanan büyük seyir zorluklarını barındırmaktadır. Bu seyir zorluklarının başında, boğazın kıvrımlı yapısı sebebiyle büyük rota değişiklikleri gerektirmesi, şiddetli akıntı, rüzgâr, yoğun ve karmaşık yerel trafik gibi unsurlar gelmektedir. 2010 verilerine göre boğazda kaydedilen en yüksek rüzgâr hız 32,5 m/s ve en yüksek dalga yüksekliği ise 1,25-2,5m aralığındadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2010).

Çanakkale Boğazı'nda trafik akışı iki yönlüdür. Gemiler boğazın kendilerine göre sancak tarafına yakın olarak trafik ayırım düzeni içerisinde seyirlerini gerçekleştirmektedir. Gemiler boğaz geçişleri süresince en az 12 kez rota değişikliği yapmak zorundadır ve bu dönüşlerden en kritik olanları 75° üzerinde rota değişikliği

gerektiren Nara Burnu ve 50°'lik rota değişikliği gerektiren Çanakkale-Kilitbahir dönüşleridir (Taşan, 2019). Akıntının da hızlandığı bu bölgeler, gemilerin seyir emniyeti açısından büyük risk oluşturmaktadır.

Dünyanın en önemli su yollarından biri olan Çanakkale Boğazı, Akdeniz ile Karadeniz arasındaki bağlantıyı sağlayan tek uluslararası ticaret yolu üzerinde bulunmaktadır. Her yıl binlerce ticari gemi bu su yolundan geçmektedir. Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM) verilerine göre 2006-2020 yılları arasında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerin istatistikleri **Çizelge 3.1**'de verilmiştir (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2020). Buna göre, son 15 yılda Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerin sayısının azaldığı, ancak taşınan yük miktarının arttığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, boğazdan geçen gemilerin boyutları artmıştır. 2006 yılında boğazdan geçen, boyu 200 metreden büyük gemi sayısı 4845 iken takip eden yıllarda artış göstermiş ve 2020 yılında 7430'a ulaşmıştır.

Çizelge 3.1: Çanakkale Boğazı 2006-2020 gemi geçiş istatistikleri (KEGM, 2020).

ÇANAKKALE BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ İSTATİSTİK ÖZETİ <i>The Statistics Summary Of Vessels Passed Canakkale Strait</i>											
YILLAR / Years	Gemi Adedi / Number Of Vessels	Toplam Gros Ton / Total Gross Tonnage	Kılavuz Alan / With Pilot	Sp1 Veren / Sp1 Given	Uğraksız Gemi / Non Call In Vessels	Boy 200 M'den Büyük / LOA Longer Than 200 M	500 GT'den Küçük / Lower Than 500 GT	Toplam Tankerler / Total Tankers			Yedekli Geçiş / Towaged
								TTA	LPG/LNG	TCH	
2006	48.915	595.826.240	16.871	48.264	32.061	4.845	1.404	7.204	798	1.565	131
2007	49.913	611.885.819	16.885	48.802	31.981	4.945	1.873	6.527	754	1.990	138
2008	48.978	657.396.892	18.334	48.565	31.981	5.223	844	5.990	777	1.991	162
2009	49.453	667.412.661	18.588	49.210	32.559	5.176	615	6.293	842	2.432	146
2010	46.686	672.843.533	18.678	46.469	28.768	5.098	598	6.017	902	2.333	138
2011	45.379	705.412.518	18.920	45.196	27.983	5.494	572	5.661	974	2.183	159
2012	44.613	735.728.537	18.775	44.416	27.418	5.919	519	5.656	1.038	2.304	134
2013	43.889	745.567.671	18.924	43.579	26.534	5.824	448	5.822	1.380	2.097	123
2014	43.582	761.631.756	19.107	43.238	26.257	5.902	512	5.875	1.206	2.169	116
2015	43.230	777.989.382	18.843	42.755	25.220	5.842	581	6.009	1.036	2.479	122
2016	44.035	772.922.682	19.007	43.543	26.071	5.665	661	6.041	881	2.559	139
2017	44.615	823.460.636	19.925	43.888	26.087	6.197	755	6.145	734	2.599	149
2018	43.999	849.140.218	19.958	43.513	25.835	6.612	732	6.181	698	2.368	156
2019	43.759	872.312.222	21.616	43.321	26.184	7.010	714	6.178	669	2.996	138
2020	42.036	858.844.972	21.175	41.581	24.639	7.430	779	5.644	671	3.057	126

Yine, KEGM verilerine göre 2006-2020 yılları arasında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemi tipleri **Çizelge 3.2**'de verilmiştir. Buna göre, son 15 yılda boğazdan geçen gemilerin büyük çoğunluğunu dökme yük gemileri ve genel kargo (general cargo)

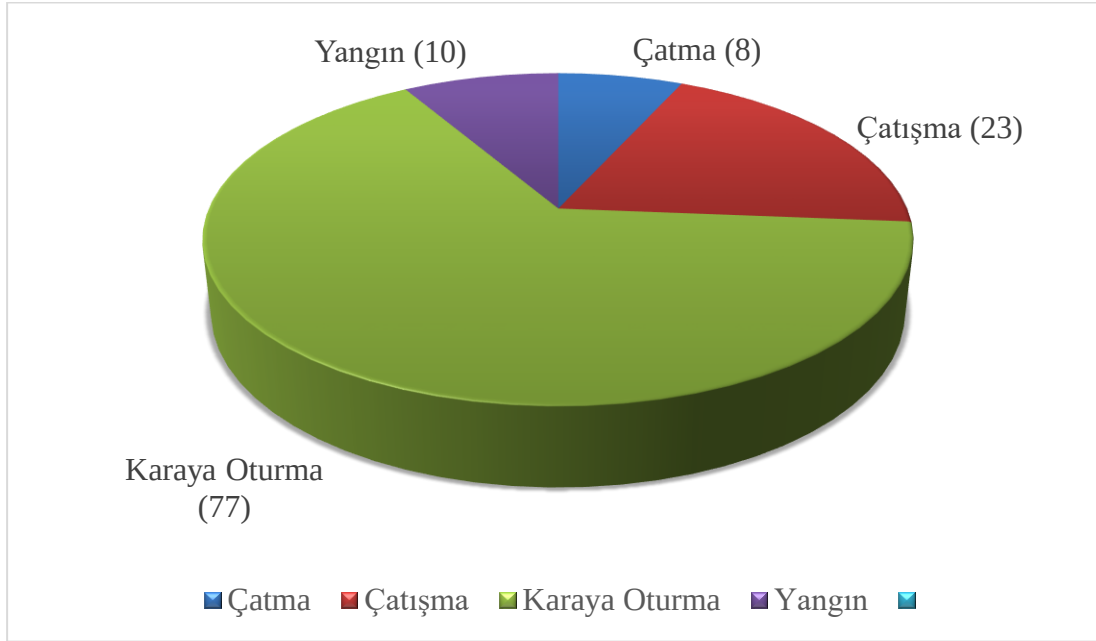
gemileri oluştururken, toplam geçiş yapan gemilerin yaklaşık %20'sini tehlikeli yük taşıyan gemiler oluşturmaktadır. anakkale Boğazı'ndan geçiş yapan her beş gemiden birinin tehlikeli yük taşıdığı düşünöldüğünde, olası bir kazanın sebep olacağı çevresel zararların büyüklüğü korkutucudur.

Çizelge 3.2: 2006-2020 yıllarında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemi tipleri (KEGM, 2020).

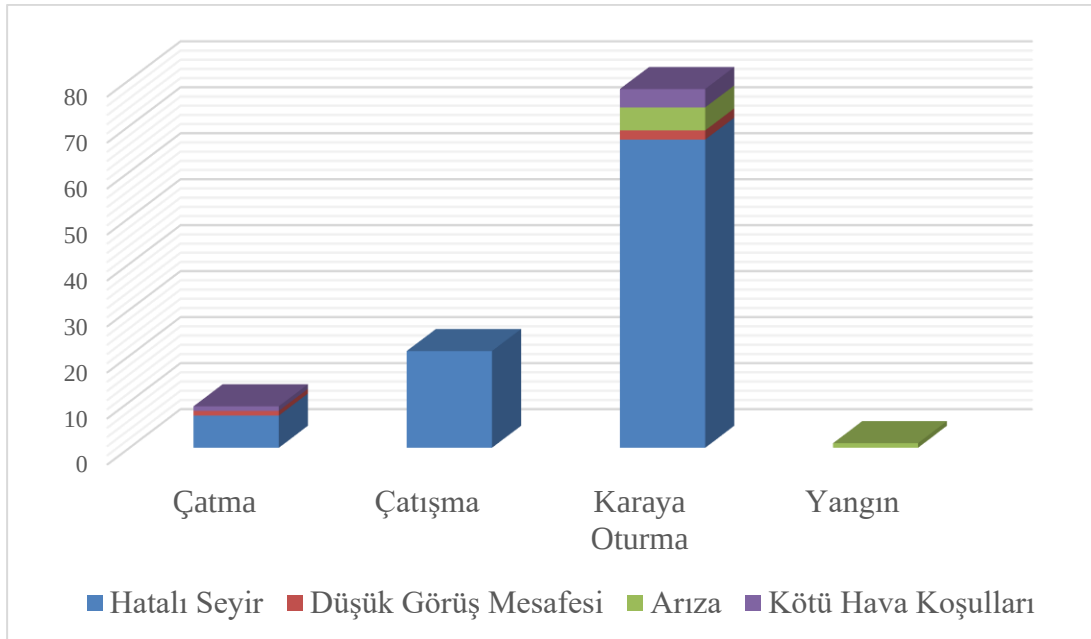
ÇANAKKALE BOĞAZI'NDAN GEİş YAPAN GEMİLERİN TİPLERİNE VE YILLARA GÖRE DAĞILIMI <i>The Statistics of Vessels Passed Canakkale Strait According to Their Ship Type</i>															
YILLAR / Years	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Bar (Barge / Barge Carrier)	202	290	38	41	9	5	14	9	19	34	29	89	57	75	109
Dökme Yük Gemisi (Bulk Carrier)	5.636	5.455	6.283	6.876	6.045	6.438	7.442	7.048	7.525	7.714	8.060	8.585	8.916	9.204	9.170
imento Gemisi (Cement Carrier)	40	33	6	27	22	19	19	7	6	4	0	6	14	10	17
Konteyner Gemisi (Container Ship)	4.539	4.709	4.947	4.649	4.840	5.056	4.653	4.653	4.595	4.346	4.728	4.957	5.123	5.238	5.219
Feribot (Ferry)	10	16	16	8	8	9	21	4	6	14	29	24	30	26	26
Genel Kargo Gemisi (General Cargo Ship)	23.672	24.204	23.660	24.033	21.731	20.205	18.992	17.995	17.297	16.282	16.680	16.485	15.764	14.771	14.197
Canlı Hayvan Taşıyan Gemi (Livestock Carrier)	147	141	73	148	283	354	529	454	416	478	653	627	601	592	593
Savaş Gemisi (Naval)	349	457	230	131	93	94	115	218	237	341	335	271	217	216	211
Yolcu Gemisi (Passenger Ship)	721	895	807	694	745	886	806	770	692	783	190	49	55	101	26
Frigorifik Gemi (Refrigerated Cargo Carrier)	981	953	881	700	653	440	280	244	124	91	125	113	67	83	76
Ro-ro Gemi (Roll on Roll off Vessel)	1.984	2.127	2.084	1.638	2.064	2.129	1.861	2.115	2.234	2.373	2.473	2.479	2.243	1.957	1.649
Tütu Belirtilmemiş Tanker (Other Tanker, TTA)	7.204	6.527	5.990	6.293	6.017	5.661	5.656	5.822	5.875	6.009	6.041	6.145	6.181	6.178	5.644
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker (Chemical Tanker, TCH)	1.565	1.990	1.991	2.432	2.333	2.183	2.304	2.097	2.169	2.479	2.559	2.599	2.368	2.996	3.057
Sıvılaştırılmış Doğalgaz Taşıyan Tanker (Liquefied Natural Gas Tanker, LNG)	147	122	111	113	120	133	133	109	131	121	126	82	103	130	129
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı Taşıyan Tanker (Liquefied Petroleum Gas Tanker, LPG)	651	632	666	729	782	841	905	1.271	1.075	915	755	652	595	539	542
Römorkör (Tug)	307	335	410	348	323	334	321	329	321	328	365	365	398	365	306
Araç Taşıyan Gemi (Vehicle Carrier)	373	404	487	305	239	173	165	289	353	415	433	576	670	644	498
Diğer (Other)	387	623	298	288	379	399	397	455	507	503	454	511	597	634	567

anakkale Boğazı'nın sahip olduğu bütün bu seyir riskleri, alınan bütün önlemlere rağmen kazaların yaşanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Yıllar içerisinde, boğazdan

geçiş yapan birçok gemi çatma, çatışma, karaya oturma, yangın ve batma gibi sebeplerle kaza yaşamıştır. 2004-2017 yılları arasında Çanakkale Boğazı'nda toplam 118 kaza olayı meydana gelmiştir. Bu kazaların türlerine göre dağılımları **Şekil 3.2**'de gösterilmiştir. Buna göre, Çanakkale Boğazı'nda en sık meydana gelen kaza türü karaya oturma olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşanan kazaların sebeplerine bakıldığında (**Şekil 3.3**) ilk sırayı insan hatasının aldığı görülmektedir (Taşan, 2019).



Şekil 3.2: 2004-2017 yılları arasında Çanakkale Boğazı'nda meydana gelen gemi kazalarının türlerine göre dağılımları (KEGM, 2017).



Şekil 3.3: 2004-2017 yılları arasında Çanakkale Boğazı'nda meydana gelen gemi kazalarının sebeplerine göre dağılımları (KEGM, 2017).

3.2.2 1915 Çanakkale Köprüsü

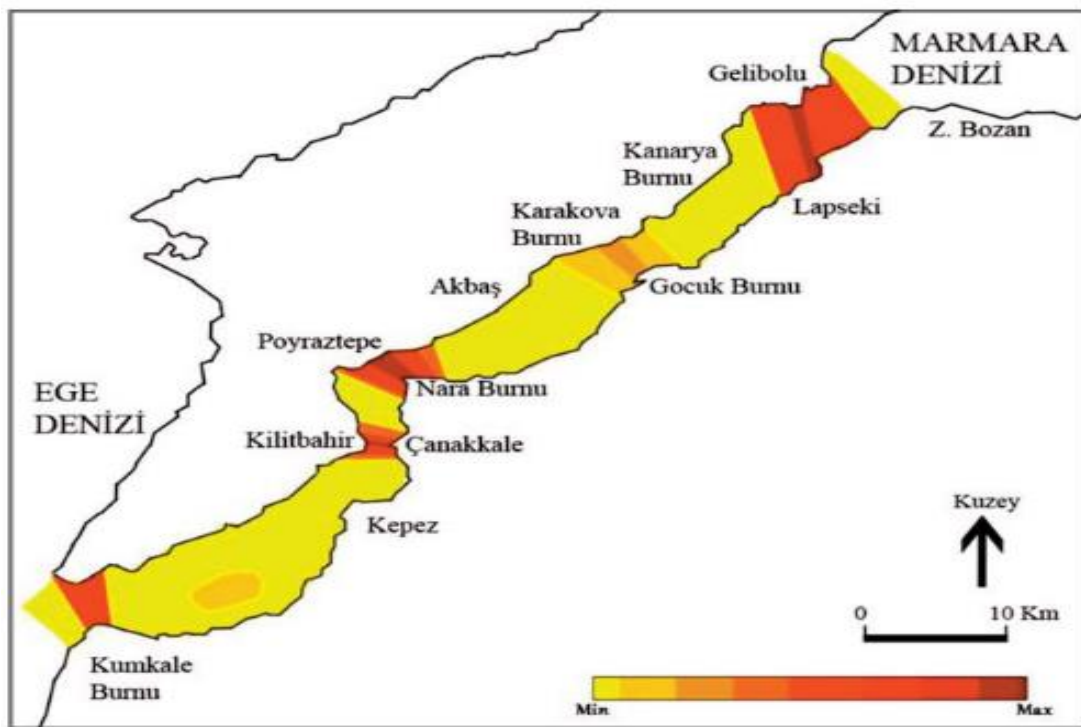
Çanakkale’de boğazın iki yakası arasındaki ulaşım denizyolu ile sağlanmaktadır. Ulaşımı kolaylaştırmak adına yapımına karar verilen ve inşası halen devam etmekte olan 1915 Çanakkale Köprüsü tamamlandığında, iki yaka arasındaki ulaşımın hız kazanacağı ve kara ulaşımına önemli bir alternatif oluşturacağı öngörülmektedir. Ancak iki ayağı da boğazın suları içerisinde yer alacak olan köprünün yoğun deniz trafiği açısından oluşturacağı risk ve bu riskin nasıl yönetileceği konusu büyük önem taşımaktadır. Nitekim, halihazırda seyir emniyeti açısından büyük riskler barındıran Çanakkale Boğazı’nın, 1915 Çanakkale Köprüsü’nün inşasıyla beraber daha büyük riskleri beraberinde getireceği aşikârdır. Yıllarca Çanakkale Boğazı’nda kılavuz kaptanlık yapmış olan duayen denizcilerden Emekli Kılavuz Kaptan Sedat Tenker (2019), yazmış olduğu yazısında durumun önemine şu sözlerle dikkat çekiyor:

Sene 2016 belki de 2017... Çanakkale Boğazı gün doğmadan 3-4 saat önce gemi trafiğine kapatılmış. Boğazda bulunan gemilerin çıkması ve günün ağarması bekleniyor. Son gemi de çıkış yaptıktan sonra dev Doğal Gaz Gemisi (LNG) tam yüklü olarak Boğaz girişine ağır ağır yaklaşıyor. LNG’ye seyir süresince eşlik edecek olan iki güçlü römorkör Boğaz ağzında. Boğaz Kılavuz Kaptanı ve Boğaz çıkışından sonra kılavuzluğu devralacak olan BOTAŞ Kılavuz Kaptanı birlikte LNG’ye çıkıyorlar. Boğaz seyri başlıyor. Her LNG geçişinde olduğu gibi, seyir emniyeti açısından ve istenmeyen bir çatışma yaşanmaması için, karşı yönden gemi trafiği yok. Aynı yönde de seyir emniyeti açısından hiçbir gemi ile karşılaşmayacak. LNG 2 kılavuz kaptan, 2 güçlü römorkör ve tek gemi olarak seyir halinde. Feribotlar LNG’nin geçiş yaptığını biliyorlar. Çanakkale önlerinde LNG’ye yaklaşmayacaklar. Bu tedbirler tüm LNG geçişlerinde gemilerin ve çevrenin emniyeti için eksiksiz uygulanıyor ve LNG’ler sadece gündüz saatlerinde geçiş yapabiliyor. Her şey olağan akışında devam ederken LNG’nin makineleri bir anda duruyor. Gemi kararıyor. Kılavuz Kaptan refakatindeki römorkörlere durumu bildiriyor. Herhangi bir yere çarpmamak, karaya oturmamak üzere römorkörler aktif kullanıma hazırlar. Tehlike büyük. Bir müddet sonra büyük şans eseri arıza giderilebiliyor ve LNG seyre devam edebilecek duruma gelebiliyor. Yine o senelerde tam yüklü büyük ham petrol tankeri kılavuz kaptanlı olarak güneye doğru seyrederken dümeni iskeleye doğru takılıyor ve şans eseri kılavuz kaptanın soğukkanlı manevraları ile çatışma ve karaya oturma yaşanmadan geldiği yöne dönebiliyor. Bu örneklerde olduğu gibi bir çok “Kazaya Yakın Durum” Boğazlarda her an ve her mevkîde yaşanabiliyor.

Köprü inşaatına başlamadan önce yapılan çevresel ve sosyal etki değerlendirmesinde de gemilerin köprü ayaklarına çarpması riskinin önemine dikkat çekilmiş ve olası sebepler şu başlıklar altında incelenmiştir:

- KAT I: Teknik kusur veya insan hatası (enerji kesintisi, itiş kaybı, hava koşulları) nedeniyle geminin rotadan çıkması,
- KAT II: Geminin dönüş yapmayı unutması ve orijinal rota üzerindeki köprü yapısına doğru ilerlemeye devam etmesi,
- KAT III: Geminin başka bir gemiyle çarpışmaktan sakınmak için manevra yapması ve köprü unsuruna çarpması,
- KAT IV: Geminin kör manevra yapması veya sürüklenmesi. Bu durum mürettebattan (uyuması, alkollü olması, yerinde olmaması) veya dümen kontrolünün kaybı (ERM, Mart 2018).

Ayrıca Çanakkale Boğazı içerisinde gerçekleşen kaza verileri temel alınarak hazırlanan risk haritasına göre (Şekil 3.4), Kilitbahir-Çanakkale, Nara Burnu-Poyraztepe ve Lapseki-Gelibolu arasındaki bölgeler kaza için daha büyük risk oluşturmaktadır (İlgar, 2015). Bu bağlamda, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün yer aldığı Lapseki-Gelibolu bölgesi kaza riskinin en yüksek olduğu bölgelere denk gelmektedir.



Şekil 3.4: Çanakkale Boğazı risk haritası (İlgar, 2015).

Bütün riskler ve olası bir kazanın sebep olacağı çevresel felaketler ve maddi kayıplar göz önüne alındığında, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün gemilerden kaynaklanan kaza riskine karşı nasıl korunacağı konusu hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple, olası kazaların engellenmesi ve gerçekleşecek kazaların etkilerinin en aza indirilebilmesi

adına gerekli ve mümkün olan bütün koruyucu-önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir.

3.2.2.1 1915 Çanakkale Köprüsü'nde gemilerden kaynaklanan kaza riskine karşı alınan önleyici tedbirler

1915 Çanakkale Köprüsü'nün deniz içerisinde konumlanan ayakları, boğaz içerisindeki seyredilebilir su yolu genişliğini daraltmakta ve gemilerden kaynaklı kaza riskini artırmaktadır. Bir geminin boğazdaki seyri esnasında herhangi bir sebeple köprü ayaklarına çarpması durumunda oluşabilecek çevresel felaketler ve maddi hasarlar da çok büyük boyutlara ulaşabilir. Tarihte yaşanan örnekler bakılırsa, bunun göz ardı edilemeyecek bir risk olduğu ortadadır. Şüphesiz, gemi-köprü kazalarında alınacak önleyici tedbirler kazaların oluşumunu engellemeleri sebebiyle büyük önem taşımaktadır. 1915 Çanakkale Köprüsü'nü gemilerden kaynaklı kaza riskine karşı koruması adına alınacak olan önleyici tedbirler dört başlık altında incelenebilir.

Yerel kurallar ve geçiş düzenlemeleri

Daha önce bahsedilen Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü (TBDTDT), Çanakkale Boğazı'nı da kapsamaktadır. Bu tüzüğün temel amacı, boğaz içerisinde gemilerin seyir emniyetlerini azami ölçüde sağlayacak gerekli düzenlemeleri ve alınması gereken tedbirleri belirlemektir. Buna göre;

- Boğazdan geçecek olan bütün gemilerin sevk ve idare sistemlerinin tamamının iyi ve çalışır durumda olması istenmektedir.
- Çanakkale Boğazı'nda üst akıntı şiddeti 4 mil/saatın üstüne çıktığında, manevra hızı 10 mil/saat ve daha aşağı olan tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler Boğaz'a girmeyecek ve akıntı şiddetinin 4 mil/saat ve altına düşmesini bekleyeceklerdir.
- Çanakkale Boğazı'nda üst akıntı şiddeti 6 mil/saatın üstüne çıktığında hızı ne olursa olsun tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler Çanakkale Boğazı'na girmeyecek ve akıntı şiddetinin 6 mil/saatın altına düşmesini bekleyeceklerdir.
- Çanakkale Boğazı'nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı 1 mil ve altına düştüğünde, deniz trafiği uygun görülen tek yöne açık tutulacak ve karşı yöne kapatılacaktır. Bu sırada, tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler Çanakkale Boğazı'na girmeyecektir.

- Çanakkale Boğazı'nın herhangi bir bölgesinde görüş uzaklığı yarım mil ve altına düştüğünde Çanakkale Boğazı geçiş trafiği iki yöne de kapatılacaktır.
- Boyları 150–200 metre ve/veya su çekimleri 10–15 metre arasında olan gemiler SP-1 Raporunu Türk Boğazlarına girmeden en az 24 saat önce, boyları 200–300 metre ve/veya su çekimleri 15 metreden daha büyük olan gemiler SP–1 raporunu Türk Boğazlarına girmeden en az 48 saat önce; ilgili TBGTH Merkezine vereceklerdir.
- Boyları 300 metre ve daha büyük olan gemilerin donatanı ya da işleticisi tarafından, seferlerin planlanması aşamasında Bakanlığa/İdareye, gemi nitelikleri ve yükü hakkında bilgi verilecektir. TBGTH Merkezi ve gerektiğinde Bakanlık/İdare, gemiler hakkındaki bu bilgilere dayanarak, gemilerin boyutları ve manevra yeteneği de dahil bütün özelliklerini, Türk Boğazlarının morfolojik ve fiziksel yapısını, mevsim şartlarını, can, mal, deniz ve çevre güvenliğiyle deniz trafiğini göz önünde bulundurarak, Türk Boğazlarından emniyetli bir geçişi sağlamak için gerekli olan şartları ve varsa tavsiyelerini ilgili geminin donatanına, işletenine ya da kaptanına bildirir; bahse konu gemilerden geçiş için gerekli şartları taşıyanlar en az 72 saat önceden SP-1 Raporunu vereceklerdir.
- Çanakkale Boğazı için 66 metre ile 70 metre arasında olan gemilere, rotalarını korumaları için Bakanlığın/İdarenin gerekli gördüğü sayıda ve güçte römorkör eşlik edecektir.
- Tam boyları 150 metre ve üzerinde olup yüklü olan LPG gemileri, boğaz geçişlerini gündüz, kılavuz kaptanlı ve römorkör eşliğinde, 150-200 metre arasında yüksüz LPG gemileri gündüz/gece ve kılavuz kaptanlı olarak gerçekleştirecektir.
- Nükleer güçle yürütülen, nükleer yük veya yakıt taşıyan, tehlikeli ve/veya zararlı yük veya atık (IMDG Kod 7) taşıyan gemiler boğaz geçişlerini gündüz, tek yönlü trafikte ve kılavuz kaptanlı olarak yapacaktır.
- Yerel trafik de dahil olmak üzere köprü ayaklarında gemiler birbirini geçemeyecek ve köprü ayaklarına 100 metreden fazla yaklaşılmayacaktır.

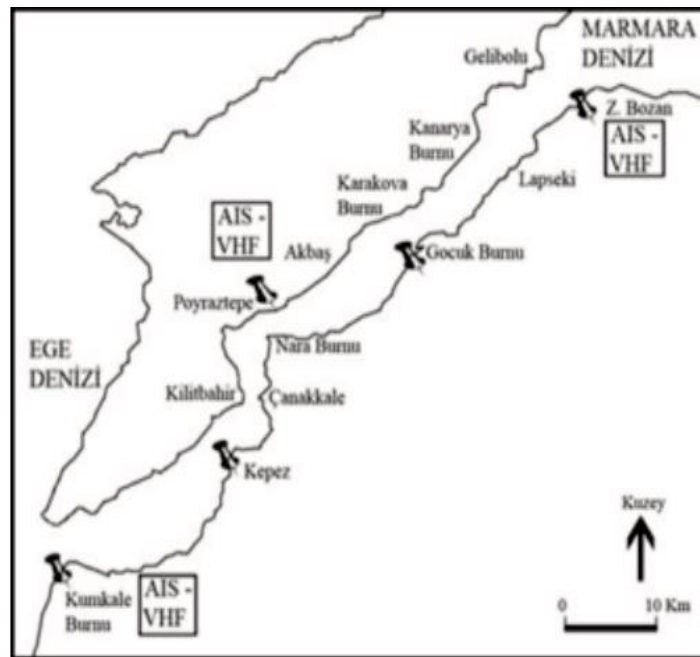
Gemilerin boğaz geçişi sırasında uyması gereken bu kurallar, gemi-köprü çarpışma riskini azaltmak adına büyük önem taşımaktadır.

Gemi trafik hizmetleri

Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH), 37 mil uzunluğundaki Çanakkale Boğazı, boyunca, gemilerin seyirlerini en emniyetli şekilde yapmalarına yardımcı olarak bölgede can, mal ve çevre emniyetini sağlamak amacıyla 7 gün 24 saat kesintisiz hizmet vermektedir.

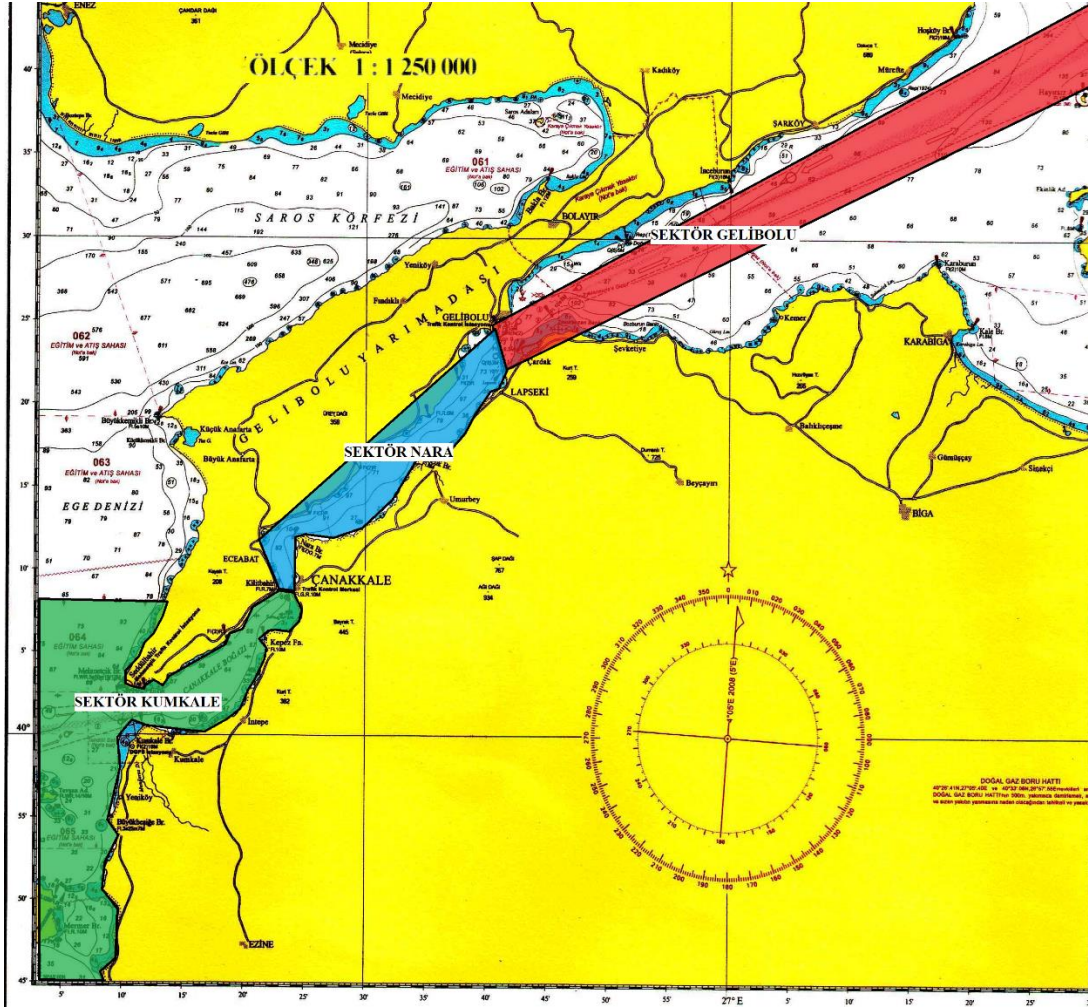
TBGTH gemilerin boğazdan geçişleri boyunca verimli ve emniyetli bir seyir gerçekleştirebilmeleri adına gemi hareketlerini düzenlemekte ve trafik organizasyonunu sağlamaktadır. Bölgedeki anlık ve güncel gelişmeleri gemilere ileterek seyir yardımı hizmeti sağlamaktadır.

Çanakkale Boğazı boyunca konumlanan 5 adet gözetleme kulesi içerisindeki sensörler, GTH merkez binasına bilgi akışını sağlamaktadır (Şekil 3.5). Gözetleme kulelerinin her birinde çift transceiver'lı X-Bant mikrodalga radar (biri yedek), gece görüş kamerası da dahil üçlü kapalı devre kamera sistemi (CCTV) bulunmaktadır. Doppler akıntı sensörleri, yüzey suyu ölçüm sensörleri, tuzluluk ve sıcaklık profilleyicileri, otomatik meteoroloji istasyonları, dGPS referans istasyonları, VHF/DF yön bulucular, VHF/MF/HF/ Inmarsat-C haberleşme cihazları, AIS anaistasyonları ve kayıt/yeniden oynatma üniteleri, sistemin ana bileşenlerini oluşturmaktadır. VHF ve telefon haberleşmeleri ile tüm kapalı devre TV görüntüleri kesintisiz ve yedekli olarak kaydedilmektedir (Taşan, 2019).



Şekil 3.5: Çanakkale Boğazı gözetleme kuleleri.

TBHTH, Çanakkale Boğazı içerisinde üç ayrı sektör bölgesiyle gemilere hizmet vermektedir (Şekil 3.6). 1915 Çanakkale Köprüsü'nün bulunduğu konumu Sektör Gelibolu kapsamaktadır. Gemilerle köprü geçişleri boyunca bilgi alışverişinin sağlanması ve alanında tecrübeli GTH operatörleri tarafından kesintisiz bir şekilde geçişin gözlenmesi, olası bir kaza riskinin önceden tespit edilebilmesi ve karşı önlemlerin zamanında alınabilmesi açısından önemli ve gerekli bir önleyici tedbirdir.



Şekil 3.6: Çanakkale Boğazı sektörleri

Kılavuzluk ve yedekleme hizmetleri

Çanakkale Boğazı'nda geçiş yapacak gemiler için, talep etmeleri halinde kılavuzluk ve yedekleme hizmetleri sağlanmaktadır. Seyir bölgesini tanıyan, doğal ve çevresel riskleri bilen, bölgesel otoritelerle iletişimi ve bilgi alışverişini en üst düzeyde gerçekleştirebilecek olan tecrübeli kaptanların sağladığı kılavuzluk hizmeti şüphesiz gemi-köprü kaza riskini önleyici tedbirler arasında büyük öneme sahiptir. Montrö Boğazlar Sözleşmesi gereğince Çanakkale Boğazı'nda kılavuzluk ve yedekleme

hizmetleri zorunlu hale getirilememektedir. Ancak seyir emniyeti açısından gemilerin bu hizmetlerden faydalanması önemle tavsiye edilmektedir.

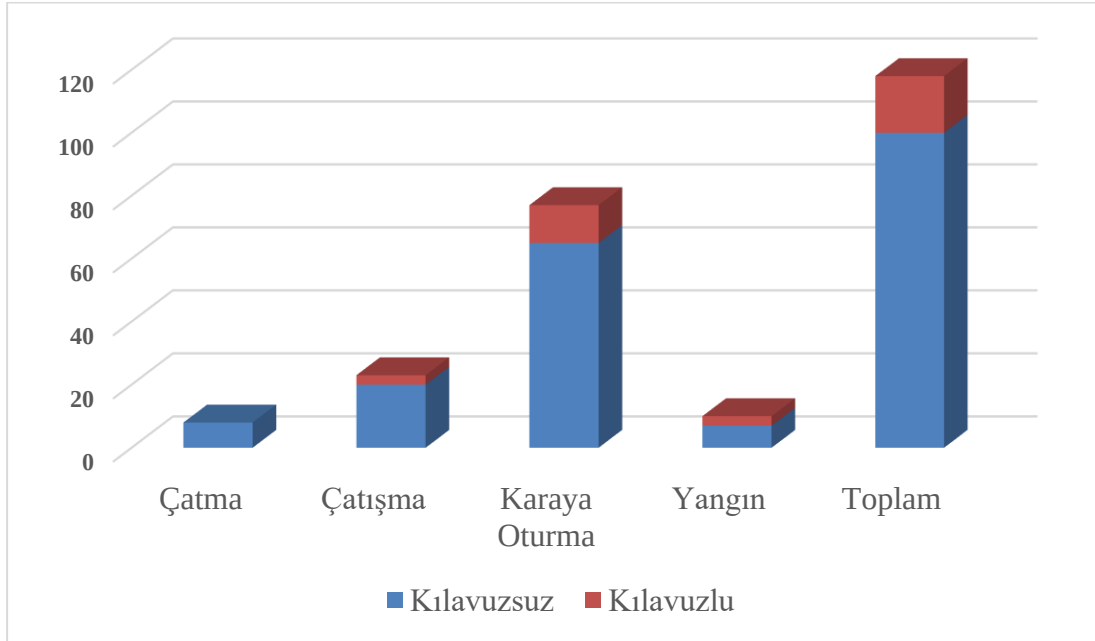
Çizelge 3.3'de boğazdan geçiş yapan gemilerin kılavuz kaptan alma durumları görülmektedir (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2020). Buna göre, son 15 yılda kılavuz kaptan alan gemilerin oranındaki artış göze çarpmaktadır. Gemilerin boyları arttıkça kılavuz alma oranlarının da arttığı görülmektedir. Özellikle, boyu 200 metreden büyük olan gemilerin yüksek oranda kılavuz kaptan talep ettikleri gözlenirken, boyu 150 metreden küçük olan gemilerde bu oranın çok düşük olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 3.3: 2006-2020 yıllarında Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerin kılavuz alma durumları (KEGM, 2020).

ÇANAKKALE BOĞAZI'NDAN GEÇİŞ YAPAN GEMİLERİN BOYLARINA VE YILLARA GÖRE KILAVUZ ALMA DURUM İSTATİSTİĞİ <i>The Statistics of Vessels Passed Çanakkale Strait According to Their Length and Pilot Request</i>														
YILLAR / Years	300 M'den Büyük / Longer Than 300 M		250-300 M Arası / Between 250-300 M		200-250 M Arası / Between 200-250 M		150-200 M Arası / Between 150-200 M		100-150 M Arası / Between 100-150 M		100 M'den Küçük / Shorter Than 100 M		Toplam / Total	
	Toplam Gemi / Total Vessels	Kılavuz Alan / With Pilot	Toplam Gemi / Total Vessels	Kılavuz Alan / With Pilot	Toplam Gemi / Total Vessels	Kılavuz Alan / With Pilot	Toplam Gemi / Total Vessels	Kılavuz Alan / With Pilot	Toplam Gemi / Total Vessels	Kılavuz Alan / With Pilot	Toplam Gemi / Total Vessels	Kılavuz Alan / With Pilot	Toplam Gemi / Total Vessels	Toplam Kılavuz Alan / Total With Pilot
2006	0	0	1.456	1.217	3.389	2.707	10.546	5.596	18.284	4.076	15.240	3.275	48.915	16.871
2007	29	29	1.750	1.588	3.166	2.509	10.050	5.475	19.614	3.983	15.304	3.301	49.913	16.885
2008	43	43	1.923	1.790	3.257	2.644	11.241	6.362	18.602	4.215	13.924	3.289	48.978	18.334
2009	94	94	1.429	1.327	3.653	2.881	11.517	6.253	18.987	4.832	13.779	3.203	49.453	18.588
2010	111	111	1.715	1.594	3.272	2.609	11.229	6.438	17.155	4.726	13.209	3.205	46.686	18.678
2011	138	138	1.982	1.809	3.374	2.770	11.715	6.859	16.412	4.686	11.761	2.661	45.379	18.920
2012	206	206	2.163	1.983	3.550	2.995	11.823	6.558	15.671	4.489	11.207	2.544	44.613	18.775
2013	216	216	2.208	2.102	3.400	2.827	11.993	6.682	15.409	4.626	10.687	2.471	43.889	18.924
2014	212	212	2.153	2.061	3.537	2.900	12.670	7.321	14.698	4.328	10.320	2.285	43.582	19.107
2015	143	143	2.255	2.192	3.444	2.732	13.487	7.478	13.798	4.097	10.123	2.201	43.230	18.843
2016	115	115	1.852	1.831	3.698	2.969	14.057	7.869	13.928	4.114	10.385	2.109	44.035	19.007
2017	203	203	2.096	2.038	3.898	3.029	14.440	8.452	13.792	3.957	10.186	2.246	44.615	19.925
2018	253	253	2.260	2.226	4.099	3.082	14.633	8.580	12.770	3.548	9.984	2.269	43.999	19.958
2019	317	317	2.209	2.198	4.484	3.640	14.465	9.111	12.890	3.946	9.394	2.404	43.759	21.616
2020	316	316	2.259	2.247	4.855	3.870	13.145	8.261	12.631	4.292	8.830	2.189	42.036	21.175

2004-2017 yılları arasında gerçekleşen kazalar incelendiğinde, kaza yapan gemilerin yaklaşık %85'inde kılavuzluk hizmetinden yararlanmadığı görülmektedir. Kılavuz

kaptan bulunduran gemilerin kaza sebepleri ise genel olarak gemilerin kendi kondisyonlarından kaynaklıdır. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün inşası, seyir açısından çok yüksek riskler barındıran bir bölgeyi daha da riskli bir hale getirmiştir. Bu bölgede seyir yapmak azami dikkat ve tecrübe gerektirmektedir. Geçmişte yaşanan kazalardaki yüksek kılavuz almama oranı da açıkça göstermektedir ki, kılavuz kaptan alınması kaza riskini önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 3.7: 2004-2017 yıllarında yaşanan kazalarda gemilerin kılavuz kaptan bulundurma durumları (KEGM, 2017).

Fenerler ve şamandıralar

Gemilerin köprü geçişleri esnasında seyir tehlikelerinden kaçınabilmeleri için gerekli uyarı işaretlerinin kullanılması, olası kazaların oluşumunu önlemek için alınması gereken önemli ve gerekli tedbirlerdendir. Bütün fener ve şamandıralar Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fener Otoriteleri Birliği'nin (IALA) tüm yayınları ve ilgili AB direktifleri kapsamında yerleştirilmektedir. 1915 Çanakkale Köprüsü'ne ait çevresel ve sosyal etki değerlendirme raporu içerisinde de köprünün gemi kaynaklı kaza risklerinden korunması amacıyla bir önleyici tedbir olarak fener ve şamandıraların önemine dikkat çekilmiştir (ERM, Mart 2018). Rapordan edinilen bilgiye göre köprü yaklaşımından köprü geçişine kadar kuzey ve güney yönlü olarak gerekli bütün fener ve şamandıraların donatılması sağlanacaktır. Gemilerin köprü ayaklarını farketmeleri ve trafik ayırım düzeni içerisinde emniyetli seyirlerine devam edebilmeleri açısından fener ve şamandıralar da diğer önleyici tedbirler gibi büyük önem arz etmektedir.

3.2.2.2 1915 Çanakkale Köprüsü’nde Gemi Kazalarına Karşı Alınan Koruyucu Önlemler

1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına bir geminin geçişi esnasında herhangi bir sebeple çarpması durumunda oluşacak maddi kayıpların ve çevresel zararların etkisini en aza indirmek için köprü ayaklarına uygun koruyucu tedbirlerin uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Köprünün yapımına halen devam edilmektedir. Bu tezin yazıldığı sırada köprünün ayakları dikilmiş, kablolarının yerleştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Hali hazırda köprü ayaklarının gemilerden kaynaklı çarpmalara karşı korunması için alınan koruyucu bir önlem gözlemlenmemiştir. Projenin internet sitesinde yer alan proje bilgileri ve çevresel sosyal etki değerlendirme raporu incelenmiş, ancak gemi-köprü kaza riskinin önemine değinilmesine rağmen alınacak koruyucu önlemler ile ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır.

2019 yılında, yıllarca Çanakkale Boğazı’nda kılavuz kaptan olarak görev yapmış duayen denizcilerden Emekli Kılavuz Kaptan Sedat Tenker tarafından Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı İletişim Merkezi (CİMER)’ne yapılan köprü ayakları için uygulanacak koruyucu tedbirler ile alakalı bilgi talebi başvurularından alınan cevap **Şekil 3.8**’de gösterildiği gibidir. Bu cevaba göre; olası bir durumda köprü ayaklarına gemilerin çarpmasına izin verileceği ve çarpışma şiddetini azaltmaya yönelik ek bir koruyucu önlem alınmayacağı açıkça anlaşılmaktadır (Tenker, 2019). Köprü ayaklarının, herhangi bir geminin çarpma şiddetine dayanması önemlidir. Ancak, geminin göreceği hasar ve bunun sebep olabileceği çevresel felaketler göz ardı edilmektedir.

Konuyla alakalı detaylı incelemelere ve uzman tavsiyelerine analiz kısmında yer verilecektir.

Sayın SEDAT TENKER,

T.C. Cumhurbaşkanlığı İletişim Merkezi (CİMER)' ne 15.04.2019 tarihinde yapmış olduğunuz [] sayılı başvurunuz 18.06.2019 tarihinde KAMU ÖZEL SEKTÖR ORTAKLIĞI BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ tarafından cevaplanmıştır:

Sn.Sedat TENKER

15.04.2019 Tarih ve [] sayılı CİMER Başvurunuz incelenmiş olup ;

Dünya genelindeki köprü projelerinde, köprünün ana taşıyıcı kulelerinin bir su yolu içinde bulunmak zorunda olduğu durumlarda, kulelerin ve kule temellerinin gemi çarpması etkilerine karşı tasarımı yapılırken iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Bunları aşağıda kısaca şöyle açıklayabiliriz:

1- Kulelerin gemi çarpmasına mâruz kalabilecek ilgili kısımlarını ve kule temellerini yeterince kuvvetli ve dirençli inşa ederek herhangi bir gemi çarpması vakası esnâsında , köprüden ziyâde çarpan geminin hasar görmesine izin verecek şekilde çarpışma enerjisini sönmülmeyi tercih eden (reaktif) yaklaşım.

2- Deniz içindeki köprü ayaklarının etrafına dolfenler, dayanma yapıları ve yapay adalar inşa ederek; teknik bir arıza veya kaptan hatasından dolayı köprü kuleleri istikâmetinde çarpışmaya doğru ilerleyen geminin kule yapısına ulaşmadan yukarıda zikredilen sunî engeller tarafından durdurulmasına yönelik (proaktif) yaklaşım.

1915 Çanakkale Köprüsü Projesinde, köprü temellerinin gemi çarpmasına karşı – yapısal dayanaklılık açısından- tasarımı yapılırken yukarıda anlattığımız yöntemlerden birincisi tercih edilmiştir. Bu tercihe istinâden gerekli çalışmalar yürütülmektedir.

İlgi dilekçede önerilen, köprü ayakları etrafına yapay adalar inşa edilerek muhtemel gemi çarpmalarının önlenmesi yaklaşımı ise muhtelif sebeplerden ötürü bu projede tercih edilmemiştir. Bu sebeplerden bazıları aşağıda şöylece sıralanabilir.

1) İnşa edilecek yapay adalar, hem inşa esnâsında hem de inşaat sonrasında gemi seyrüsefer kanalını (navigasyon kanalını) daraltacak ve bu daraltma da iki yönlü gemi geçişlerinin yapıldığı Çanakkale Boğazında, gemiler ve gemi kaptanları için fizikî ve psikolojik birer engel oluşturacaktır. İstatistikî verilere göre, gemi kazalarının çoğunluğunun insanî hatalardan kaynaklandığı göz önüne alınırsa; su yolu üzerinde bu tür engeller oluşturmamak ve daha geniş bir seyrüsefer kanalı bırakmak daha doğru olarak telâkkî edilmiştir.

2) Köprü kulelerinin inşa edilmekte olduğu yerlerde boğazın derinliği 35 m ile 45 m arasında değişmektedir ve iki kule arasındaki en derin yer yaklaşık 90 metredir. Bu derinliklerde ve köprü civarında, su altındaki muhtelif haberleşme ve enerji hatlarının varlığı çok hassas deniz çalışmaları gerektirmektedir. Öyle ki; bu bölgede, köprü ile ilgili yapım faaliyetleri esnâsında yürütülen deniz operasyonlarında, kullanılan deniz vasıtalarının çapa atacakları yerler dahi operasyondan önce hassas bir çalışma neticesinde belirlenmektedir. Hatta bu sebeple birçok operasyonda dinamik konumlandırma teçhizatına sahip deniz araçları tercih edilmektedir. Böylesine hassas bir ortamda ,köprü kulelerinin etrafına büyük yapay adalar inşa etmek uygun değildir.

Son olarak, ilgi dilekçede bahsedilen; köprü kulelerine gemi çarpması hâlinde gemilerde meydana gelebilecek muhtelif sızıntıların sebebiyet vereceği çevre kirliliği konusu, yine ilgi dilekçede, gemilerin köprüye çarpmasını engellemek için inşa edilmesi tavsiye edilen yapay adalara gemi çarpması durumu için de geçerlidir. Yani, çevre kirliliğine sebep olabilecek gemi çarpması (çarpışması) vakaları, Gelibolu (Sütlüce)-Lapseki (Şekerkaya) arasında hiç köprü inşa edilmese dahi herhangi bir sebeple (karaya oturma, patlama, iki geminin çarpışması) gerçekleşebilir. Dolayısıyla; çevre kirliliği meselesi, asma köprü ile ilgili gemi çarpması –yapısal- tasarımı yapılırken ana konulardan birisi olarak değerlendirilmemekle birlikte, meselenin çevresel ve sosyal etkisi ve önemine binâen , hem köprü inşası esnâsında hem de köprü kullanıma açıldıktan sonra asma köprü civarında herhangi bir sebeple gerçekleşebilecek gemi kazalarının yol açabileceği çevre kirliliği senaryoları göz önünde bulundurulmakta olup gerekli fikir alışverişleri ve planlamalar denizcilik ve çevre ile ilgili resmî kurumlarla işbirliği içinde yapılmaktadır.

Bilgilerinize rica ederiz.

Başvurunuz ile ilgili tüm işlemleri CİMER'in internet adresinden takip edebilirsiniz.

Şekil 3.8: Korumaya önlemler ile ilgili CİMER cevabı.

4 1915 ÇANAKKALE KÖPRÜSÜ'NDE GEMİ-KÖPRÜ KAZALARINA KARŞI KORUYUCU VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLERİN ANALİZİ

4.1 Analiz Yöntemi

1915 Çanakkale Köprüsü için koruyucu ve önleyici tedbirlerin yeterlilikleri ve uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesinde anket uygulaması tercih edilmiştir. EK-A'da verilen anketin hazırlanması aşamasında konuyla ilgili uzman kişilerin görüşleri alınmıştır. Anket internet ortamında hazırlanarak katılımcı grubuna iletilmiştir.

Bu ankette Türk Boğazları ve bilhassa Çanakkale Boğazı'nda önemli bilgi ve tecrübelerle sahip uzmanlardan oluşan bir katılımcı kitlesine;

- 1915 Çanakkale Köprüsü'nde uygulanan koruyucu ve önleyici tedbirlerin; gemi-köprü kazalarının oluşmasını önlemesi ya da kazanın gerçekleşmesi durumunda gemi, köprü ve çevre açısından oluşabilecek olumsuz sonuçları en aza indirmesi açısından yeterliliği,
- Dünya üzerinde gemi-köprü kazalarına karşı uygulanan koruyucu ve önleyici tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliği,
- Varsa, tedbirlerin uygulanamama sebepleri

konularında sorular yöneltilerek görüş ve önerileri alınmıştır. Sorularda her bir tedbirin etkinliğinin, uygulanabilirliğinin ve yeterliliğinin 11'li likert ölçeğine göre (0: en düşük, 10: en yüksek) değerlendirilmesi beklenmiştir.

4.2 Geçerlilik ve Güvenilirlik Analizleri

Anket oluşturulurken, uzman görüşleri alınarak sorular belirlenmiştir. Toplanan veriler "IBM SPSS Statistics 27" programına işlenerek anketin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Geçerlilik Analizi

Anketin geçerliliğinin tespiti için faktör analizi yapılmıştır. Faktör analizinde Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliliği ölçütü dikkate alınmıştır. KMO değeri 0,5 üzerinde olan veriler faktör analizine uygun kabul edilmektedir. Uygulanan ankette KMO değeri 0,662 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Barlett testi ki-kare değeri 528,055 ($p<0,001$) bulunmuş ve değer anlamlı çıkmıştır. KMO ve Barlett testlerine ait bulgular **Çizelge 4.1**'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Faktör analizi sonuçları.

Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterliliği		,662
Bartlett Testi	Yaklaşık Chi-Kare değeri	528,055
	df	120
	Sig. (p)	,000

4.2.2 Güvenilirlik Analizi

Anketin güvenilirliğinin tespiti için alfa katsayısından (Cronbach's Alpha) faydalanılmıştır. Yapılan analizde 67 uzmandan elde edilen veriler kullanılmış ve her bir faktörün iç tutarlılığını gösteren alfa katsayıları tespit edilmiştir. Cronbach's Alpha değerinin 0,6 üzerinde olması durumunda anketin güvenilir olduğu kabul edilmektedir. Uygulanan ankette bu değer 0,752 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla uygulanan anketin güvenilirliği belirlenmiştir.

Anketin bütünü ile ilgili güvenilirlik analizlerine ait veriler **Çizelge 4.2**'de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Anket güvenilirlik testi.

Cronbach's Alpha Katsayısı	Standardize Edilmiş Öğeler Üzerinden Cronbach Alpha Katsayısı	Öğelerin Sayısı
,752	,772	25

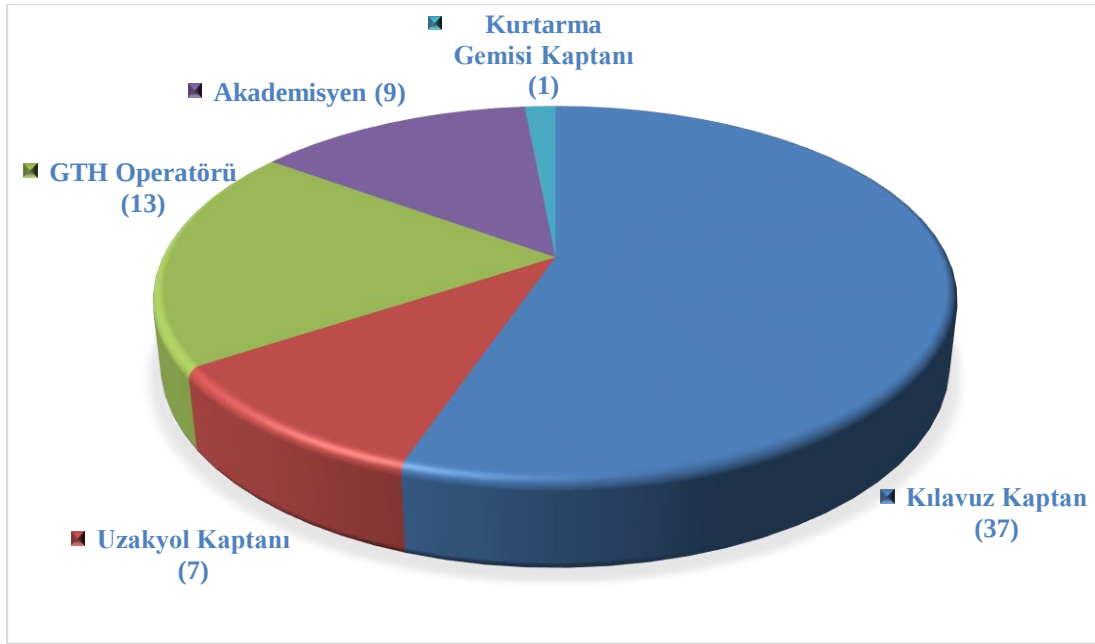
Her bir maddenin anket güvenilirliğine etkisi analizi **Çizelge 4.3'**de verilmiştir.

Çizelge 4.3: Maddelerin anket güvenilirliğine etkileri.

	Madde Silindiğinde Ölçek Ortalaması	Madde Silindiğinde Ölçek Varyansı	Düzeltilmiş Madde Bütün Korelasyonu	Çoklu Korelasyon Karesi	Madde Silindiğinde Cronbach Alfa
ö.gth.etki	169,40	419,305	,249	,859	,746
ö.gth.yeterli	169,78	417,540	,295	,798	,744
ö.pilot.etki	168,18	433,543	,268	,769	,747
ö.pilot.yeterli	168,34	431,471	,238	,800	,747
ö.römork.etki	169,30	424,970	,216	,824	,748
ö.römork.ytrli	169,51	422,920	,225	,785	,748
ö.kural.etki	169,40	417,275	,351	,776	,741
ö.kural.yeterli	169,99	413,863	,399	,799	,738
ö.fener.etki	168,93	421,797	,367	,753	,741
ö.fener.yeterli	169,54	415,343	,383	,811	,739
Fuzzy.gerekli	168,61	418,999	,306	,616	,743
k.tedbirsiz.etki	172,36	416,173	,164	,712	,757
k.tdbrsz1915.etki	172,51	421,375	,129	,657	,759
k.ypya da.etki	168,94	433,784	,152	,780	,751
k.ypya da.uyg	170,42	423,914	,170	,836	,752
k.kazık.etki	169,27	420,715	,295	,724	,744
k.kazık.uyg	170,10	414,610	,277	,822	,745
k.usturmaça.etk	170,21	401,168	,370	,872	,738
k.ustumaça.uyg	169,82	396,846	,392	,878	,736
k.dolfin.etki	170,03	419,393	,279	,777	,744
k.dolfin.uyg	170,04	400,286	,488	,771	,731
k.yky.etki	171,09	428,780	,123	,760	,755
k.yky.uyg	171,63	418,571	,219	,843	,749
k.klvz.etki	170,01	396,621	,466	,862	,731
k.klvz.uyg	170,60	385,275	,555	,901	,724

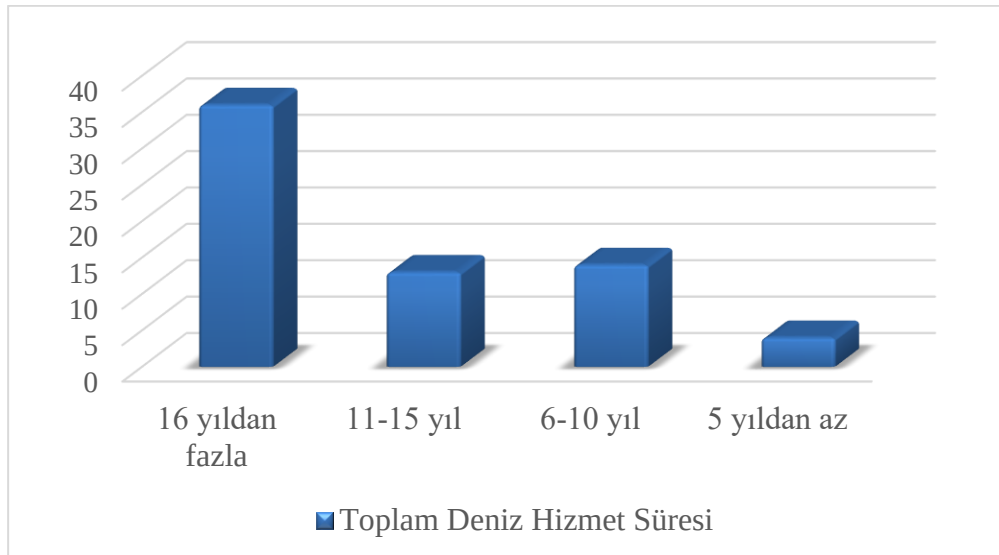
4.3 Katılımcı Profili

Ankete katılan uzman ekibi; denizcilik mesleğinde uzun yıllar geçirmiş, Çanakkale Boğazı hakkında önemli bilgi ve tecrübelerle sahip kişilerden oluşmaktadır. Kılavuz kaptanlar, gemi trafik hizmetleri operatörleri, kurtarma gemisi kaptanı, uzakyol kaptanları ve akademisyenlerden oluşan toplam 67 kişilik uzman ekibinin mesleklerine göre dağılımları **Şekil 4.1'**de gösterilmiştir.



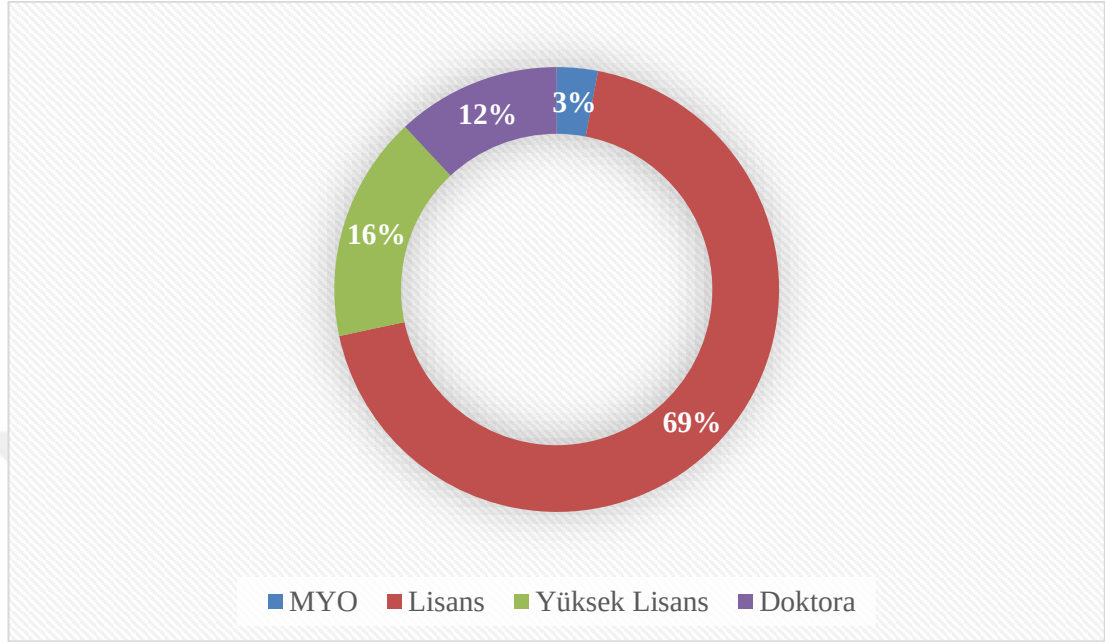
Şekil 4.1: Katılımcıların meslek dağılımları.

Katılımcıların büyük bir çoğunluğu aktif olarak çalışmaya devam etmektedirler. Aktif olarak çalışmayan yalnızca 7 katılımcı bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı yakın zamanda emekli olmuş, bir kısmı ise gemi işletmeciliği, brokerlik gibi denizcilik sektöründeki diğer meslek kollarına geçmişlerdir. Ancak bütün katılımcılar, Çanakkale Boğazı konusunda bilgi ve tecrübe sahibi kişilerden oluşmaktadır. Katılımcıların deniz tecrübelerine göre dağılımları **Şekil 4.2**'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Katılımcıların deniz tecrübelerine göre dağılımları.

Katılımcılar, öğrenim durumları bakımından doktora, yüksek lisans, lisans ve meslek yüksek okulu mezunlarından oluşmaktadır. Katılımcıların öğrenim durumlarına göre dağılımları **Şekil 4.3**'de verilmiştir.



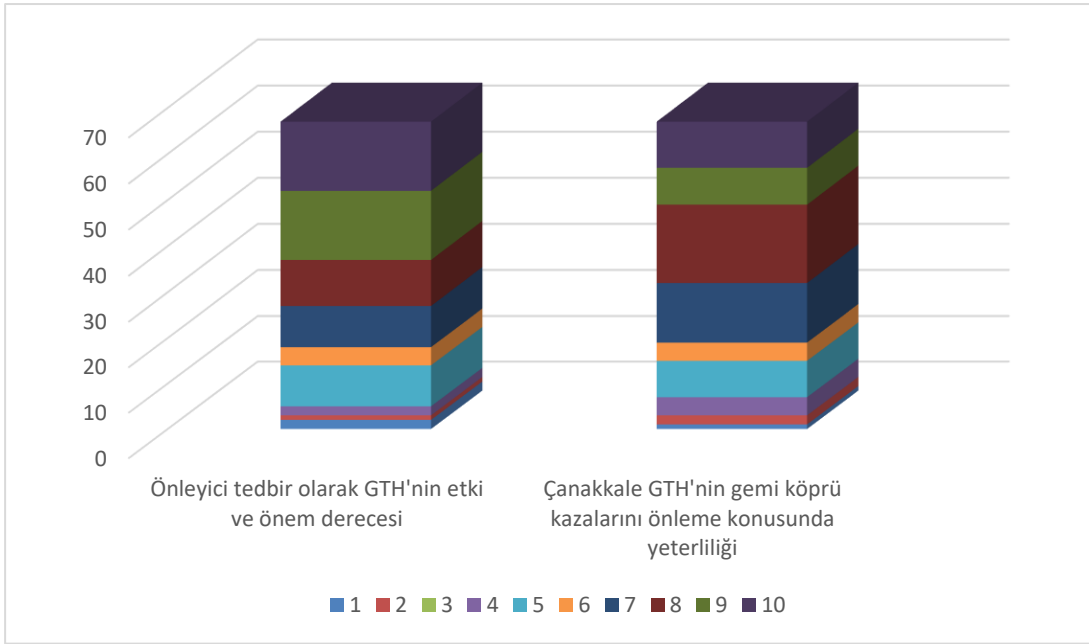
Şekil 4.3: Katılımcıların öğrenim durumlarına göre dağılımları.

4.4 1915 Çanakkale Boğazı'nda Gemi-Köprü Kazalarına Karşı Uygulanan Önleyici Önlemlerin Yeterlilikleri

1915 Çanakkale Köprüsü, gemi seyri açısından zorlu ve riskli bir su yolu olan Çanakkale Boğazı içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla, dünya üzerinde uygulanan gemi-köprü kazalarına karşı önleyici tedbirlerin birçoğu köprü inşaatından önce de gemilerin boğazdan emniyetli geçişleri için uygulanmaktaydı. Köprü'nün inşasıyla birlikte artan risk faktörü, mevcut önleyici tedbirlerin gemi köprü kazalarını önlemek için ne kadar etkili, önemli ve yeterli olduğu konusunda soru işaretlerine yol açmıştır. Çanakkale Boğazı konusunda büyük bilgi ve tecrübelerle sahip uzman ekibine uygulanan ankette, gemilerin köprü ayaklarına çarpmalarını önlemek adına uygulanan gemi trafik hizmetleri, kılavuzluk hizmetleri, römorkör hizmetleri, yerel kurallar ve geçiş düzenlemeleri, seyir yardımcıları gibi önleyici tedbirlerin etki ve önemleri ile bu tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü'ndeki uygulamalarının yeterlilikleri hakkında sorular yöneltmiş ve görüşleri alınmıştır.

4.4.1 Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH)

Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için önleyici bir tedbir olarak gemi trafik hizmetlerinin ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve Çanakkale Boğazı’nda hizmet veren Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri’nin 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından ne derece yeterli bir önleyici tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.4**’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Gemi Trafik Hizmetleri etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.

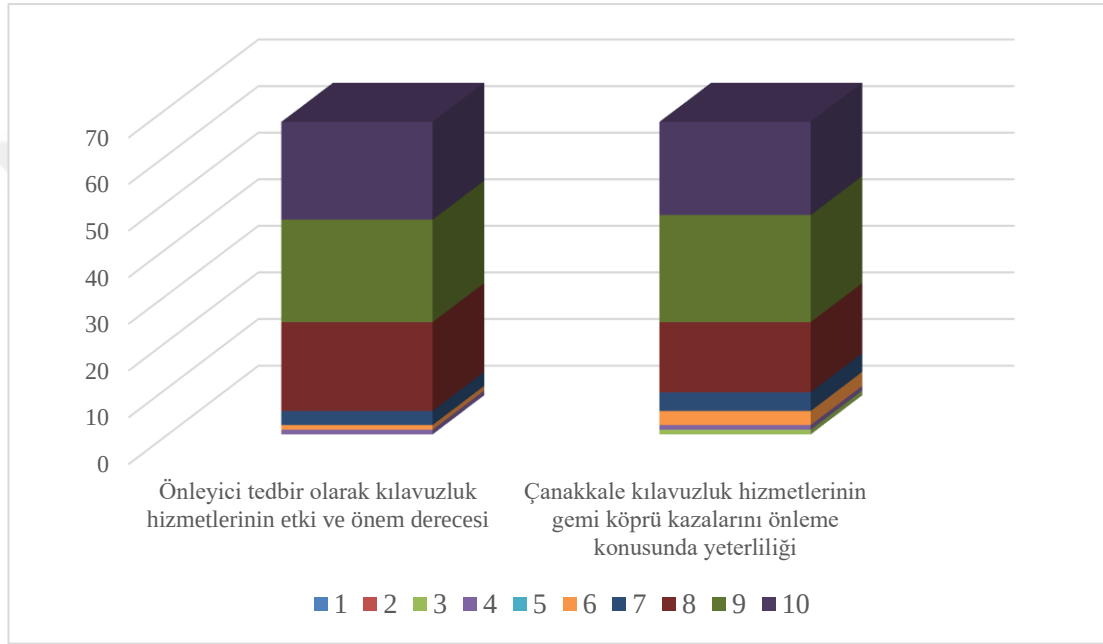
Sonuçlar incelendiğinde; önleyici bir tedbir olarak gemi trafik hizmetlerinin önem derecesinin ortalama 7,6/10 olduğu görülmektedir. Buna göre, dar su yolları içerisinde bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için gemi trafik hizmetlerinin etkili ve önemli bir önleyici tedbir olduğu görüşü hâkimdir.

Öte yandan, Çanakkale Boğazı’nda hizmet veren Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH)’nin 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından yeterlilik derecesi için ortalama 7,2/10 sonucuna ulaşılmıştır.

Bu durumda; TBGTH’nin gemi-köprü kazalarını engellemek açısından yeterliliği, önleyici bir tedbir olarak gemi trafik hizmetlerinin gerekliliklerine uygun olarak değerlendirilmiştir.

4.4.2 Kılavuzluk Hizmetleri

Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için önleyici bir tedbir olarak kılavuzluk hizmetlerinin ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve Çanakkale Boğazı’nda verilen kılavuzluk hizmetlerinin 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından ne derece yeterli bir önleyici tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.5**’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Kılavuzluk hizmetleri etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.

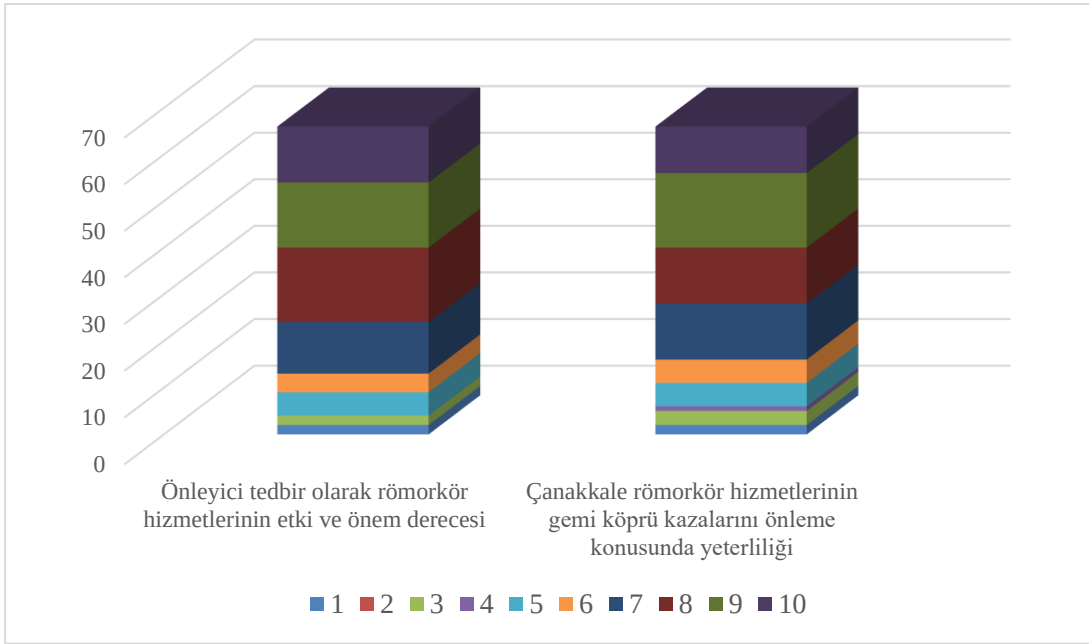
Sonuç grafikleri incelendiğinde; önleyici bir tedbir olarak kılavuzluk hizmetlerinin önem derecesinin ortalama 8,8/10 olduğu görülmektedir. Buna göre, dar su yolları içerisinde bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için kılavuzluk hizmetlerinin çok etkili ve önemli bir önleyici tedbir olduğu konusunda bütün uzmanlar hemfikirdir.

Öte yandan, Çanakkale Boğazı’nda verilen kılavuzluk hizmetlerinin, 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından yeterlilik derecesi için ortalama 8,7/10 sonucuna ulaşılmıştır.

Bu durumda; Çanakkale Boğazı’nda verilen kılavuzluk hizmetlerinin gemi-köprü kazalarını engellemek açısından yeterliliği, önleyici bir tedbir olarak kılavuzluk hizmetlerinin gerekliliklerine uygun olarak değerlendirilmiştir.

4.4.3 Römorkör Hizmetleri

Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için önleyici bir tedbir olarak römorkör hizmetlerinin ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve Çanakkale Boğazı’nda verilen römorkör hizmetlerinin 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmasını engellemesi açısından ne derece yeterli bir önleyici tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Römorkör hizmetleri etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.

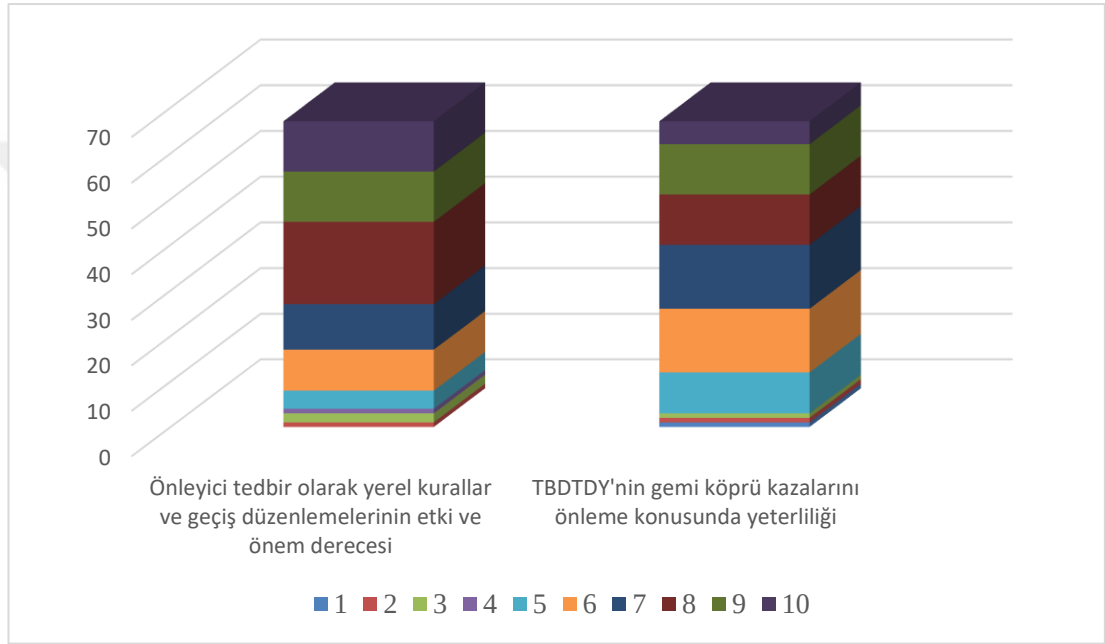
Alınan cevaplara bakıldığında; önleyici bir tedbir olarak römorkör hizmetlerinin önem derecesinin ortalama 7,6/10 olduğu görülmektedir. Buna göre, dar su yolları içerisinde bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için römorkör hizmetlerinin etkili ve önemli bir önleyici tedbir olduğu konusunda bütün uzmanlar hemfikirdir.

Öte yandan, Çanakkale Boğazı’nda verilen römorkör hizmetlerinin, 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından yeterlilik derecesi için ortalama 7,4/10 sonucuna ulaşılmıştır.

Bu durumda; Çanakkale Boğazı’nda verilen römorkör hizmetlerinin gemi-köprü kazalarını engellemek açısından yeterliliği, önleyici bir tedbir olarak römorkör hizmetlerinin gerekliliklerine uygun olarak değerlendirilmiştir.

4.4.4 Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği (TBDDTY)

Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için önleyici bir tedbir olarak yerel kurallar ve geçiş düzenlemelerinin ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve Çanakkale Boğazı’nda uygulanan TBDDTY’nin 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmasını engellemesi açısından ne derece yeterli bir önleyici tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.7**’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Yerel kurallar ve geçiş düzenlemelerinin etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.

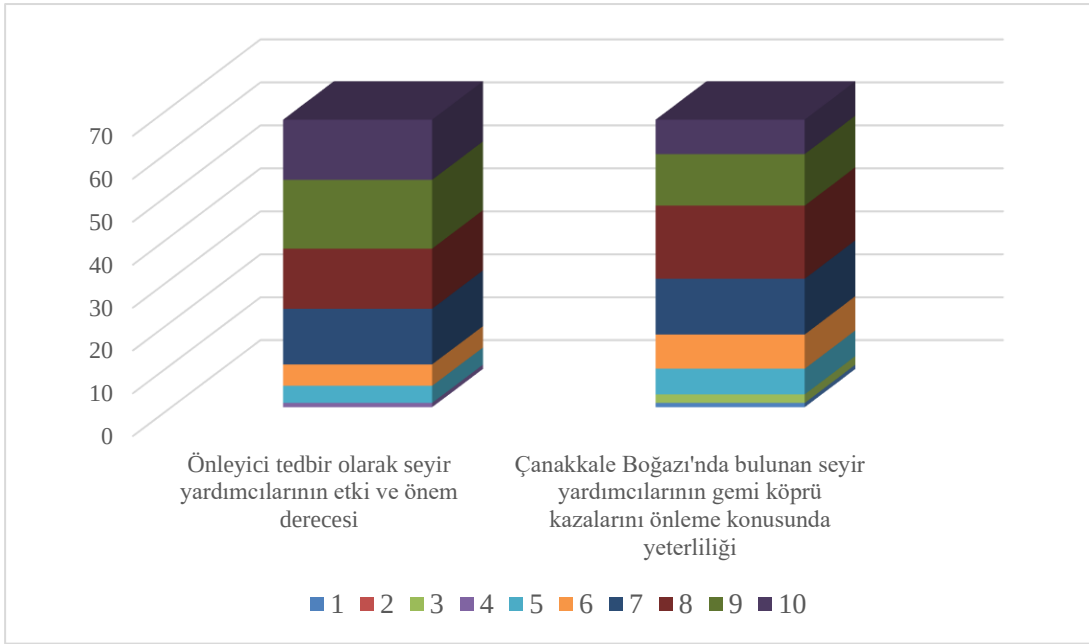
Alınan cevaplara bakıldığında; önleyici bir tedbir olarak yerel kurallar ve geçiş düzenlemelerinin önem derecesinin ortalama 7,6/10 olduğu görülmektedir. Buna göre, dar su yolları içerisinde bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için etkili ve önemli bir önleyici tedbir olduğu düşünülmektedir.

Öte yandan, Çanakkale Boğazı’nda uygulanan TBDDTY’nin, 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından yeterlilik derecesi uzmanlar tarafından ortalama 7,0/10 olarak belirlenmiştir.

Bu durumda; Çanakkale Boğazı’nda uygulanan TBDDTY’nin gemi-köprü kazalarını engellemek açısından yeterliliği, önleyici bir tedbir olarak yerel kurallar ve geçiş düzenlemelerinin gerekliliklerine büyük ölçüde uygun olmasının yanında, birtakım yeni düzenlemelerin gerektiği düşüncesi de ortaya çıkmaktadır.

4.4.5 Seyir yardımcıları

Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için önleyici bir tedbir olarak seyir yardımcılarının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve Çanakkale Boğazı’nda bulunan seyir yardımcılarının 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmasını engellemesi açısından ne derece yeterli bir önleyici tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Seyir yardımcılarının etki, önem, yeterlilik derecesi istatistikleri.

Alınan cevaplara bakıldığında; önleyici bir tedbir olarak fenerler, şamandıralar gibi seyir yardımcılarının önem derecesinin ortalama 8,1/10 olduğu görülmektedir. Buna göre, dar su yolları içerisinde bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için çok etkili ve önemli bir önleyici tedbir olduğu düşünülmektedir.

Öte yandan, Çanakkale Boğazı’nda bulunan seyir yardımcılarının, 1915 Çanakkale Köprüsü’nün ayaklarına gemilerin çarpmalarını önlemesi açısından yeterlilik derecesi uzmanlar tarafından ortalama 7,5/10 olarak belirlenmiştir.

Bu durumda; Çanakkale Boğazı’nda bulunan seyir yardımcılarının gemi-köprü kazalarını engellemek açısından yeterliliği, önleyici bir tedbir olarak seyir yardımcılarının gerekliliklerine büyük ölçüde uygun olsa da, daha fazla seyir yardımcısının bölgeye eklenmesi gerektiği düşüncesi de ortaya çıkmaktadır.

4.5 1915 Çanakkale Boğazı'nda Gemi-Köprü Kazalarına Karşı Uygulanan Koruyucu Önlemlerin Yeterlilikleri

Dar su yollarında bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpması riskini kontrol etmek için öncelikli önlemler her zaman önleyici tedbirler olmalıdır. Kazaların oluşumunun önlenmesi için gerekli olan en etkili ve uygulanabilir tedbirler belirlenmeli, mevcut tedbirlerin yeterlilikleri artırılmalıdır. Ancak, her ne kadar bu kazaların oluşumunu önlemek adına bütün tedbirler alınsa da, dünya üzerinde halen gemi-köprü kazaları yaşanmaya devam etmektedir. Bu sebeple, işin şansa bırakılma lüksü bulunmamaktadır. Bir kazanın oluşması ihtimaline karşı çarpışma şiddetini azaltmaya yönelik koruyucu tedbirlerin alınması; gemi, köprü ve çevre açısından oluşabilecek zararları en aza indirmek adına büyük önem taşımaktadır.

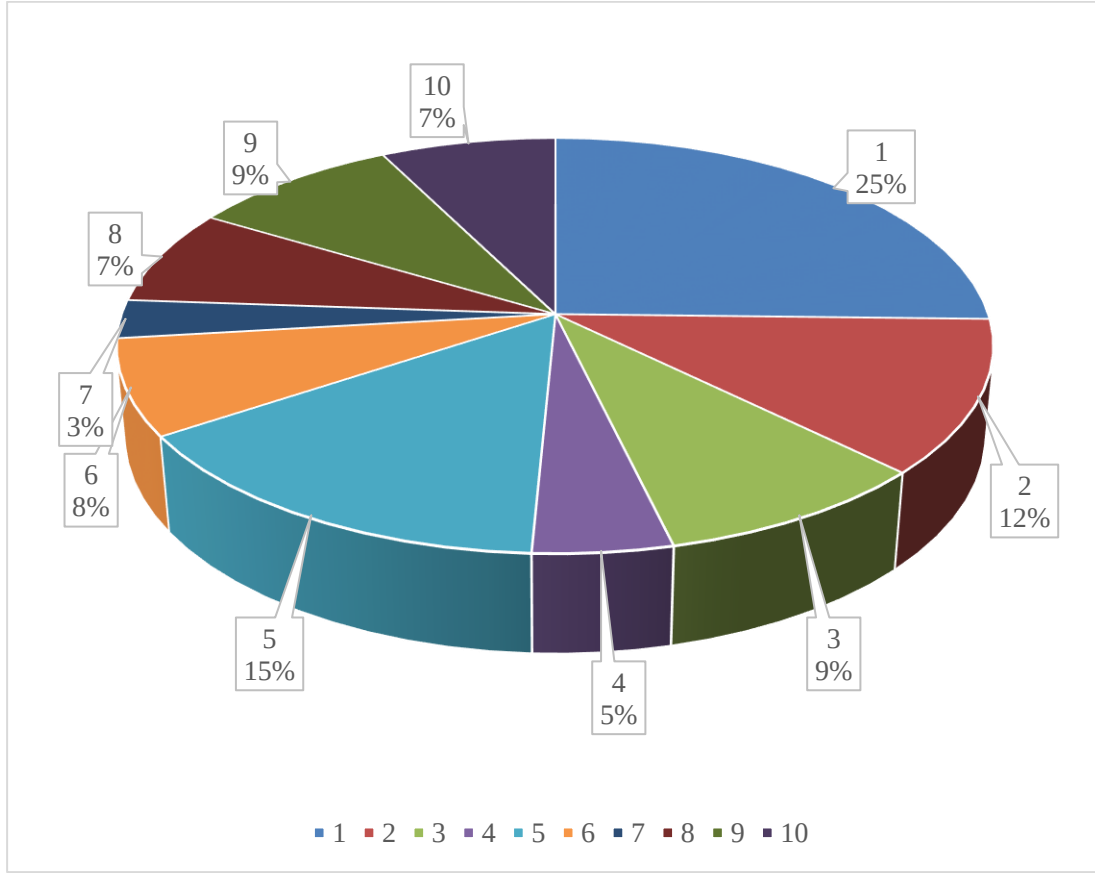
Dünya üzerinde dar su yolları üzerinde bulunan köprülerin ayaklarını gemi çarpmalarından korumak adına çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunların başlıcaları;

- Yapay ada koruması,
- Kazık destekli koruyucu yapılar,
- Usturmaça koruması,
- Dolfın koruması,
- Yüzer koruyucu yapılar,
- Kılavuz yapılar şeklinde sıralanabilir.

1915 Çanakkale Köprüsü, bulunduğu konumun coğrafi şartlarından ötürü gemi seyri açısından oluşturduğu büyük zorluklar sebebiyle, ayaklarına gemilerin çarpması riski göz ardı edilemeyecek kadar fazladır (Tenker, 2019). Buna karşın, köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışma şiddetini azaltacak ek bir tedbir uygulanması öngörülmemiş, yalnızca köprü ayaklarının çarpışmalara dayanacak kadar dayanıklı inşa edilmesiyle yetinilmiştir. Köprü ayaklarının olası bir gemi çarpmasına dayanıklı olması çok önemli olmakla birlikte, bu yöntem gemilerin göreceği zararı görmezden gelmektedir. Her yıl binlerce tehlikeli yük taşıyan ve boyutları gün geçtikçe artan gemilerin geçtiği Çanakkale Boğazı'nda oluşabilecek bir kazada çevre ve canlı yaşamının emniyeti de en az köprünün yapısal dayanıklılığı kadar düşünülmelidir.

Bu sebeple, bölgeyle ilgili büyük bilgi ve tecrübelerle sahip uzmanlardan oluşan katılımcı grubuna uygulanan ankette, köprünün yalnızca çarpışmalara dayanacak

kadar dayanıklı inşa edilmesinin koruyucu bir tedbir olarak yeterliliği sorulmuş ve 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.9'**da gösterilmiştir.



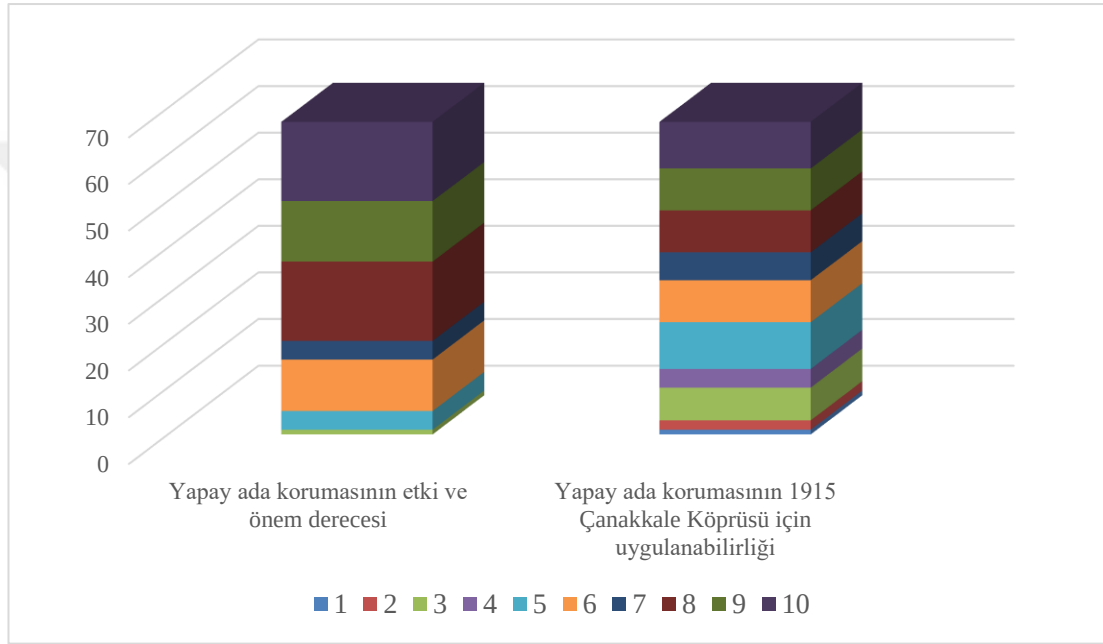
Şekil 4.9: Köprünün yalnızca çarpışmalara dayanacak kadar dayanıklı inşa edilmesinin koruyucu bir tedbir olarak yeterliliği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak yalnızca köprü ayaklarının çarpışmalara dayanacak kadar dayanıklı inşa edilmesi ve çarpışma şiddetini azaltacak ek bir koruyucu tedbir alınmamasının gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 4,5/10 olarak belirlenmiştir. Bölgenin riskleri konusunda bilgili ve tecrübeli olan 67 uzmanın görüşleri neticesinde mevcut uygulamanın, olası bir gemi-köprü kazası oluşması durumunda, gemiler, çevre ve canlı hayatı için doğuracağı sonuçlar açısından yetersiz olduğu sonucu elde edilmektedir.

Bu sebeple, katılımcı grubuna; dünya da gemi-köprü kazalarına karşı uygulanan koruyucu önlemlerin sağladığı koruyuculukların etki ve önem dereceleri ile bu tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliği hakkında sorular yöneltilmiş ve görüşleri alınmıştır.

4.5.1 Yapay ada koruması

Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışmanın şiddetini azaltmak ve gemi, köprü, çevre, canlı hayatı açısından doğabilecek olumsuz sonuçları azaltmak için koruyucu bir tedbir olarak yapay ada koruması yapılmasının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve 1915 Çanakkale Köprüsü için ne derece uygulanabilir bir koruyucu tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.10**'da gösterilmiştir.



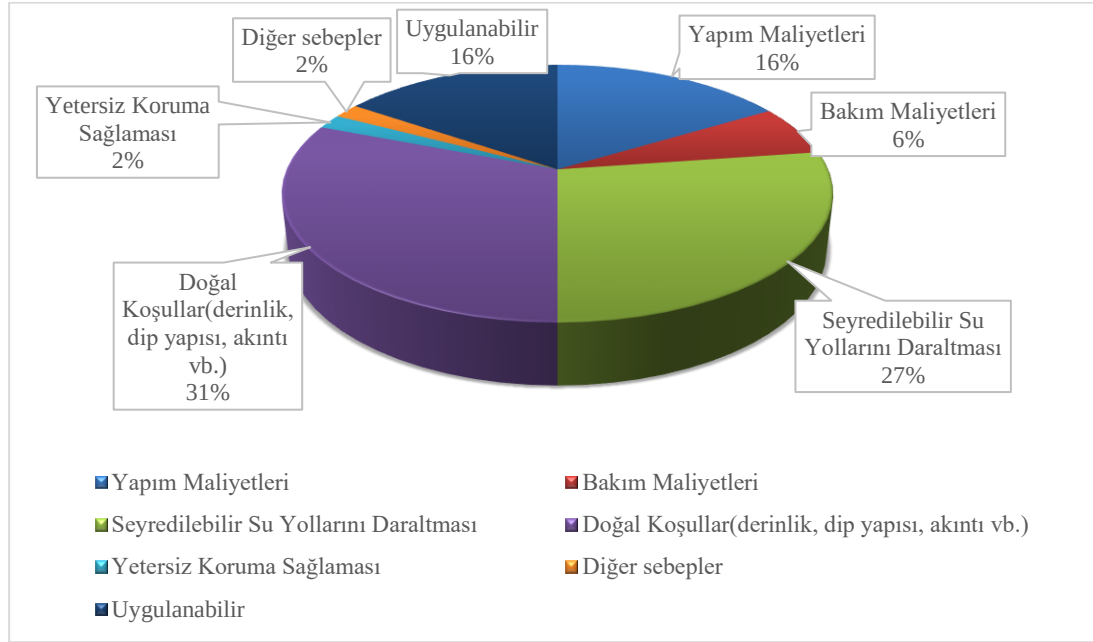
Şekil 4.10: Yapay ada korumasının etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak yapay ada korumasının gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 8,1/10 olarak belirlenmiştir. Yapay ada korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü açısından uygulanabilirliği ise ortalama 6,5/10 şeklinde elde edilmiştir.

Buna göre; yapay ada korumasının köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda yüksek koruyuculuğa sahip olması düşüncesinde uzmanların hemfikir olduğu görülmüştür. Ancak uzmanlar, bu koruma tedbirinin 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliği konusunda fikir ayrılığı yaşamaktadır.

Yapay ada korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanamayacağının ya da teknik olarak uygulanması mümkün olsa dahi uygulanmasının mantıklı olmayacağının

düşünülmesinin sebepleri katılımcı grubuna sorulmuş ve alınan cevapların dağılımı **Şekil 4.11**'de gösterilmiştir.

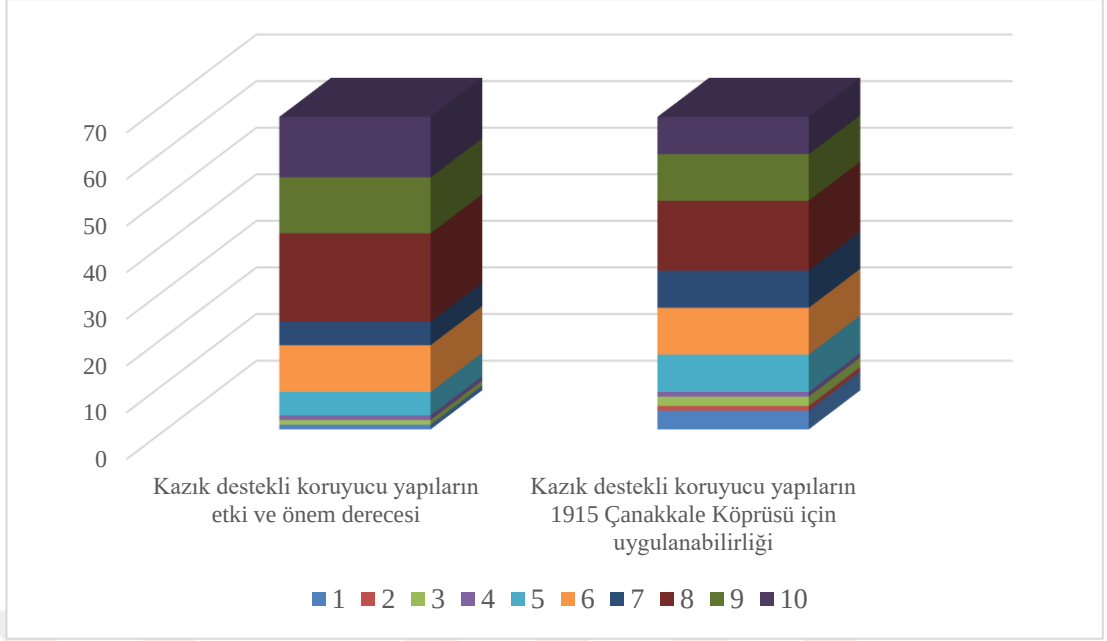


Şekil 4.11: Yapay ada korumasının uygulanamama sebepleri.

Sonuç olarak, köprü ayaklarının çevresine yapay adalar yapılması, gemi-köprü kazalarında yüksek koruyuculuk sağlamasına rağmen, seyir yollarını daraltması, yapım ve bakım maliyetleri ile bölgenin akıntı, derinlik gibi doğal koşulları sebebiyle 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde uygulanabilirliği mümkün görünmemektedir.

4.5.2 Kazık destekli koruyucu yapılar

Dar su yolları içerisine inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışmanın şiddetini azaltmak ve gemi, köprü, çevre, canlı hayatı açısından doğabilecek olumsuz sonuçları azaltmak için koruyucu bir tedbir olarak köprü ayaklarının çevresine kazık destekli koruyucu yapılar yapılmasının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve 1915 Çanakkale Köprüsü için ne derece uygulanabilir bir koruyucu tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.12**'de gösterilmiştir.

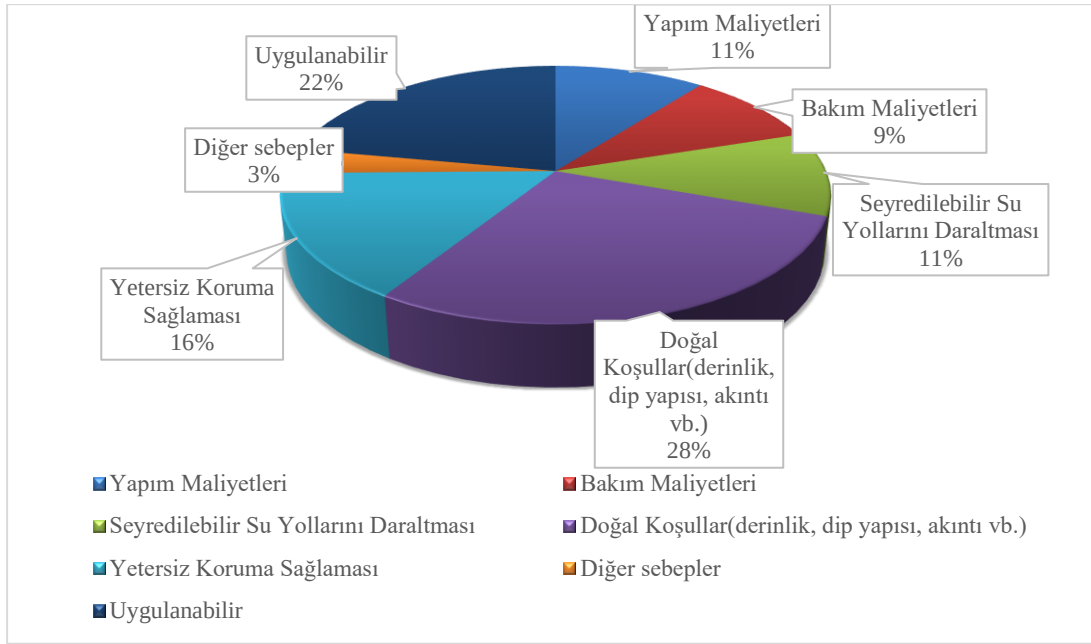


Şekil 4.12: Kazık destekli koruyucu yapıların etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak kazık destekli koruyucu yapıların gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 7,7/10 olarak belirlenmiştir. Kazık destekli koruyucu yapıların 1915 Çanakkale Köprüsü açısından uygulanabilirliği ise ortalama 6,9/10 şeklinde elde edilmiştir.

Buna göre; kazık destekli koruyucu yapıların köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda büyük ölçüde koruyuculuğa sahip olması düşüncesinde uzmanların hemfikir olduğu görülmüştür. Ancak uzmanlar, bu koruma tedbirinin 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliği konusunda fikir ayrılığı yaşamaktadır.

Kazık destekli koruyucu yapıların 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanamayacağının ya da teknik olarak uygulanması mümkün olsa dahi uygulanmasının mantıklı olmayacağının düşünülmesinin sebepleri katılımcı grubuna sorulmuş ve alınan cevapların dağılımı **Şekil 4.13**'de gösterilmiştir.

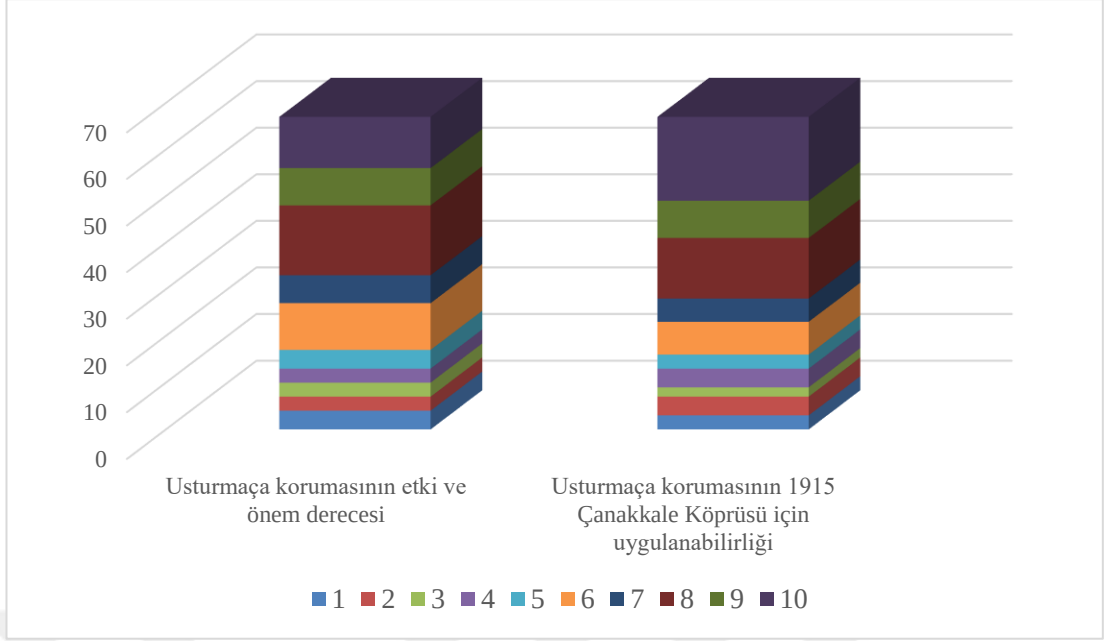


Şekil 4.13: Kazık destekli koruyucu yapıların uygulanamama sebepleri.

Sonuç olarak, köprü ayaklarının çevresine kazık destekli koruyucu yapılar inşa edilmesi, gemi-köprü kazalarında koruyuculuk sağlamasına rağmen, seyredilebilir su yollarını daraltması, yapım ve bakım maliyetleri ile bölgenin akıntı, derinlik gibi doğal koşulları sebebiyle 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde uygulanabilirliği konusunda fikir ayrılıkları yaşanmaktadır.

4.5.3 Usturmaça koruması

Dar su yolları içerisine inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışmanın şiddetini azaltmak ve gemi, köprü, çevre, canlı hayatı açısından doğabilecek olumsuz sonuçları azaltmak için koruyucu bir tedbir olarak köprü ayaklarının çevresine usturmaça koruması yapılmasının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve 1915 Çanakkale Köprüsü için ne derece uygulanabilir bir koruyucu tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

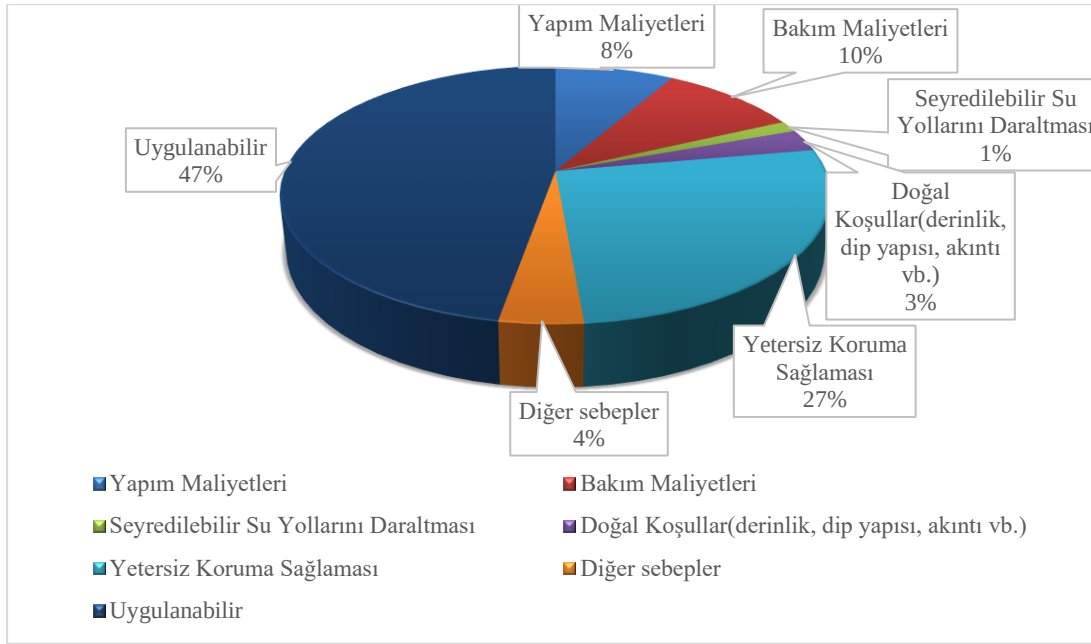


Şekil 4.14: Usturmaça korumasının etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak usturmaça korumasının gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 6,8/10 olarak belirlenmiştir. Usturmaça korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü açısından uygulanabilirliği ise ortalama 7,2/10 şeklinde elde edilmiştir.

Buna göre; usturmaça korumasının köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda yapay ada ve kazık destekli yapılara nazaran daha düşük oranda koruyuculuğa sahip olduğu düşüncesinin ağır bastığı grlmştir. Ancak uzmanlar, bu koruma tedbirinin 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliğini daha mümkün bulmaktadır.

Usturmaça korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanamayacağının ya da teknik olarak uygulanması mümkün olsa dahi uygulanmasının mantıklı olmayacağının düşünülmesinin sebepleri katılımcı grubuna sorulmuş ve alınan cevapların dağılımı **Şekil 4.15'**de gösterilmiştir.

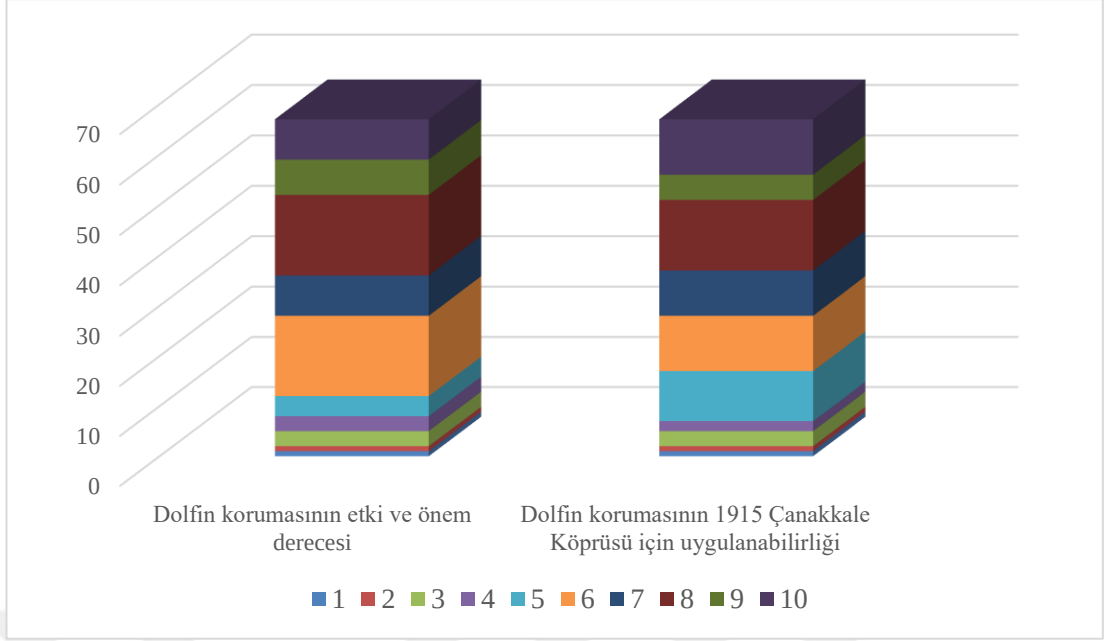


Şekil 4.15: Usturmaça korumasının uygulanamama sebepleri.

Sonuç olarak, uzmanların yaklaşık olarak yarısı köprü ayaklarının çevresine usturmaça koruması yapılmasının 1915 Çanakkale Köprüsü için en uygulanabilir yöntem olduğunu düşünmektedir. Öte yandan, bu koruma tedbirinin uygulanamaması düşüncesinde en ağır basan sebep nispeten daha düşük koruyuculuk sağlaması ve usturmaça korumasının bir gemi-köprü kazasında yetersiz kalması ihtimalidir.

4.5.4 Dolfın koruması

Dar su yolları içerisine inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışmanın şiddetini azaltmak ve gemi, köprü, çevre, canlı hayatı açısından doğabilecek olumsuz sonuçları azaltmak için koruyucu bir tedbir olarak köprü ayaklarının çevresine dolfın koruması yapılmasının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve 1915 Çanakkale Köprüsü için ne derece uygulanabilir bir koruyucu tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları **Şekil 4.16**’da gösterilmiştir.

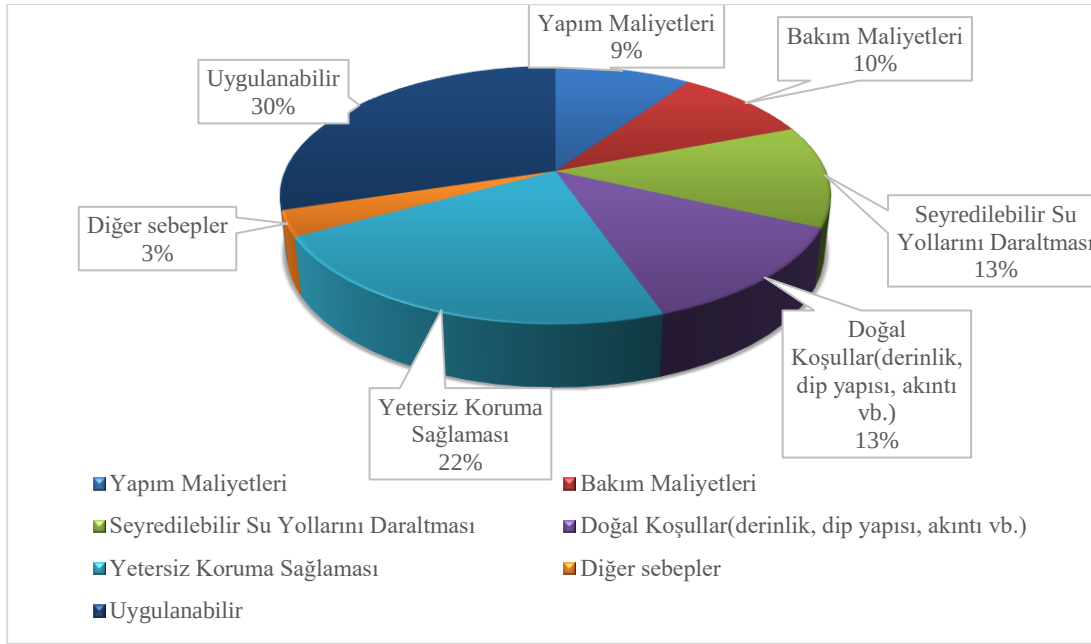


Şekil 4.16: Usturmaça korumasının etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak dolfin korumasının gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 7/10 olarak belirlenmiştir. Dolfin korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü açısından uygulanabilirliği ise ortalama 7/10 şeklinde elde edilmiştir.

Buna göre; usturmaça korumasının köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda yapay ada ve kazık destekli yapılara nazaran daha düşük oranda koruyuculuğa sahip olduğu düşüncesinin ağır bastığı görülmüştür. Ancak uzmanlar, bu koruma tedbirinin 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliğini daha mümkün bulmaktadır.

Dolfin korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanamayacağının ya da teknik olarak uygulanması mümkün olsa dahi uygulanmasının mantıklı olmayacağının düşünülmesinin sebepleri katılımcı grubuna sorulmuş ve alınan cevapların dağılımı **Şekil 4.17'**de gösterilmiştir.

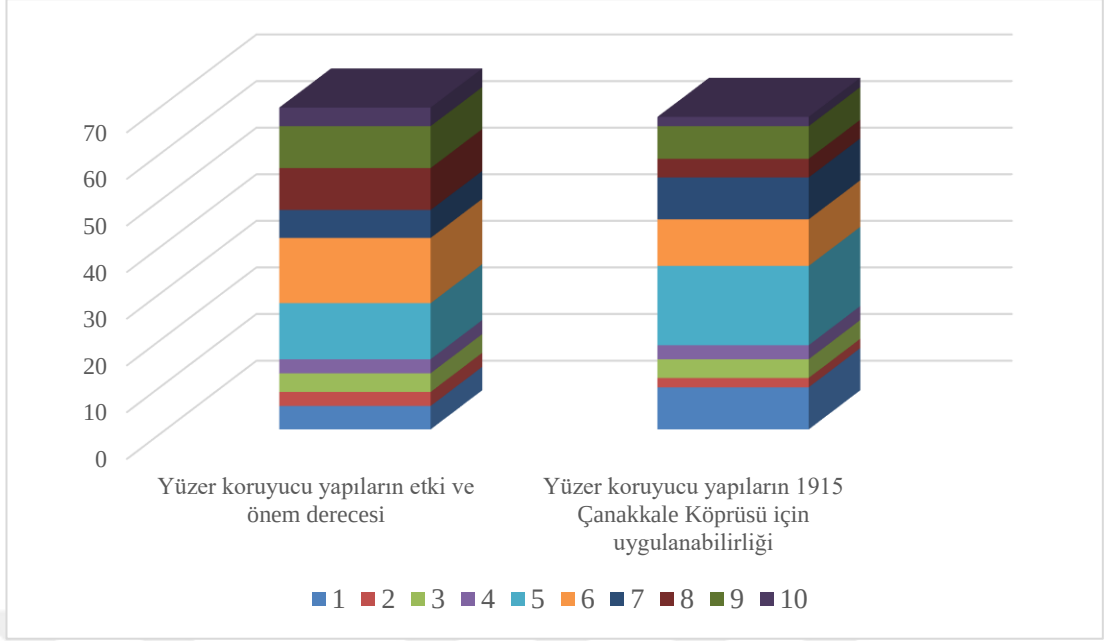


Şekil 4.17: Dolfin korumasının uygulanamama sebepleri.

Sonuç olarak, uzmanlar teknik olarak köprü ayaklarının çevresine dolfin koruması yapılmasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilir bir yöntem olduğunu düşünmektedir. Ancak, bu koruma tedbirinin uygulanamaması düşüncesinde en ağır basan sebep nispeten daha düşük koruyuculuk sağlaması ve usturma korumasının bir gemi-köprü kazasında yetersiz kalması ihtimalidir. Ayrıca yapım ve bakım maliyetleri, seyredilebilir su yollarını daraltması, doğal koşullar gibi sebepler de dolfin korumasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilirliği konusunda uzmanları fikir ayrılığına düşürmüştür.

4.5.5 Yüzer koruyucu yapılar

Dar su yolları içerisine inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışmanın şiddetini azaltmak ve gemi, köprü, çevre, canlı hayatı açısından doğabilecek olumsuz sonuçları azaltmak için koruyucu bir tedbir olarak köprü ayaklarının çevresine yüzer koruyucu yapılar yapılmasının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve 1915 Çanakkale Köprüsü için ne derece uygulanabilir bir koruyucu tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

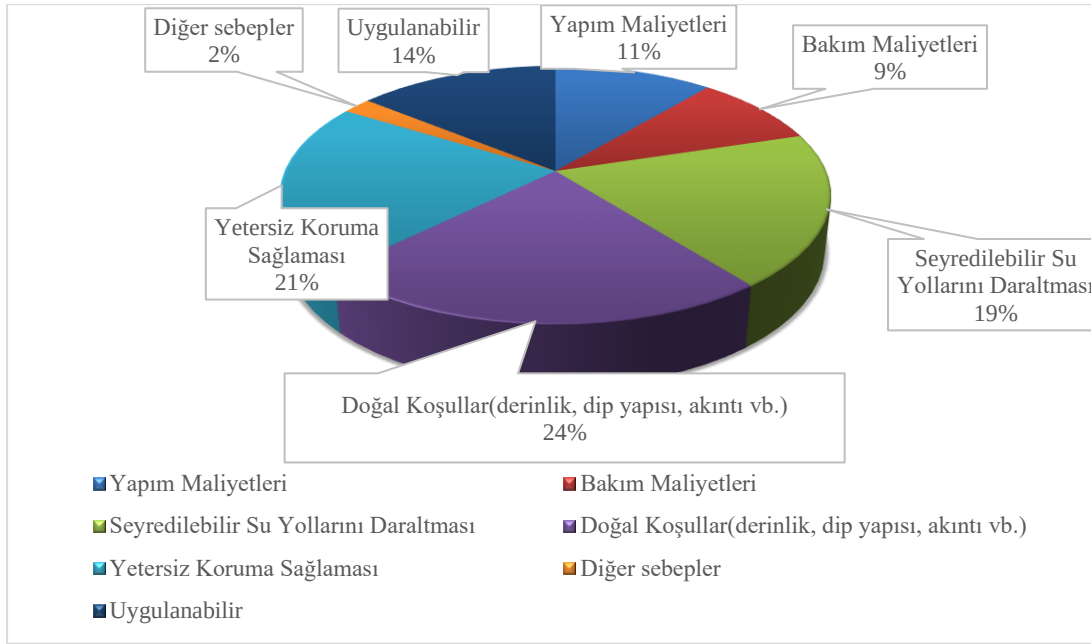


Şekil 4.18: Yüzer koruyucu yapıların etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak yüzer koruyucu yapıların gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 6,2/10 olarak belirlenmiştir. Yüzer koruyucu yapıların 1915 Çanakkale Köprüsü açısından uygulanabilirliği ise ortalama 5,4/10 şeklinde elde edilmiştir.

Buna göre; yüzer koruyucu yapıların köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda koruyuculuğu bakımından etki ve önem derecesi genel olarak düşük bulunmuştur. Yine bu koruma tedbiri 1915 Çanakkale Köprüsü için uzmanlar tarafından çoğunlukla uygun bulunmamıştır.

Yüzer koruyucu yapıların 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanamayacağının ya da teknik olarak uygulanması mümkün olsa dahi uygulanmasının mantıklı olmayacağının düşünülmesinin sebepleri katılımcı grubuna sorulmuş ve alınan cevapların dağılımı **Şekil 4.19'**da gösterilmiştir.

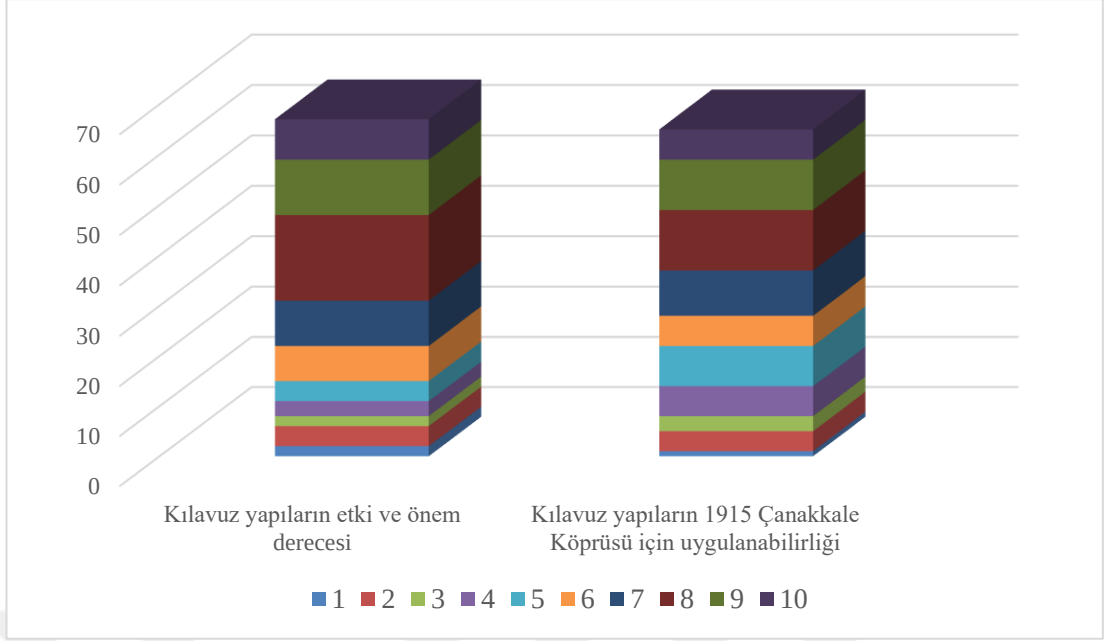


Şekil 4.19: Yüzer koruyucu yapıların uygulanamama sebepleri.

Sonuç olarak, uzmanlar köprü ayaklarının çevresine yüzer koruyucu yapılar yapılmasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanmasını çoğunlukla uygun bulmamışlardır. Bunun başlıca sebepleri olarak; doğal koşullar, sağlayacağı korumanın yetersizliği, seyir yollarını daraltması, yapım ve bakım maliyetleri gösterilmiştir. Öte yandan, bu tip koruma tedbirlerinde yüzer yapının dipten kopması halinde gemi trafiğine oluşturacağı risklere de dikkat çekilmiştir. Tüm bunlar göz önüne alındığında, koruyucu tedbir olarak yüzer yapıların kullanılması 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanabilir görünmemektedir.

4.5.6 Kılavuz yapılar

Dar su yolları içerisine inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpması durumunda çarpışmanın şiddetini azaltmak ve gemi, köprü, çevre, canlı hayatı açısından doğabilecek olumsuz sonuçları azaltmak için koruyucu bir tedbir olarak köprü ayaklarının çevresine kılavuz yapılar yapılmasının ne derece “etkili ve önemli” bulunduğu ve 1915 Çanakkale Köprüsü için ne derece uygulanabilir bir koruyucu tedbir olduğu sorularına, katılımcıların 0 ile 10 arasında bir derecelendirme yapmaları istenmiştir (0: çok az, 10: çok fazla). Alınan cevapların dağılımları Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

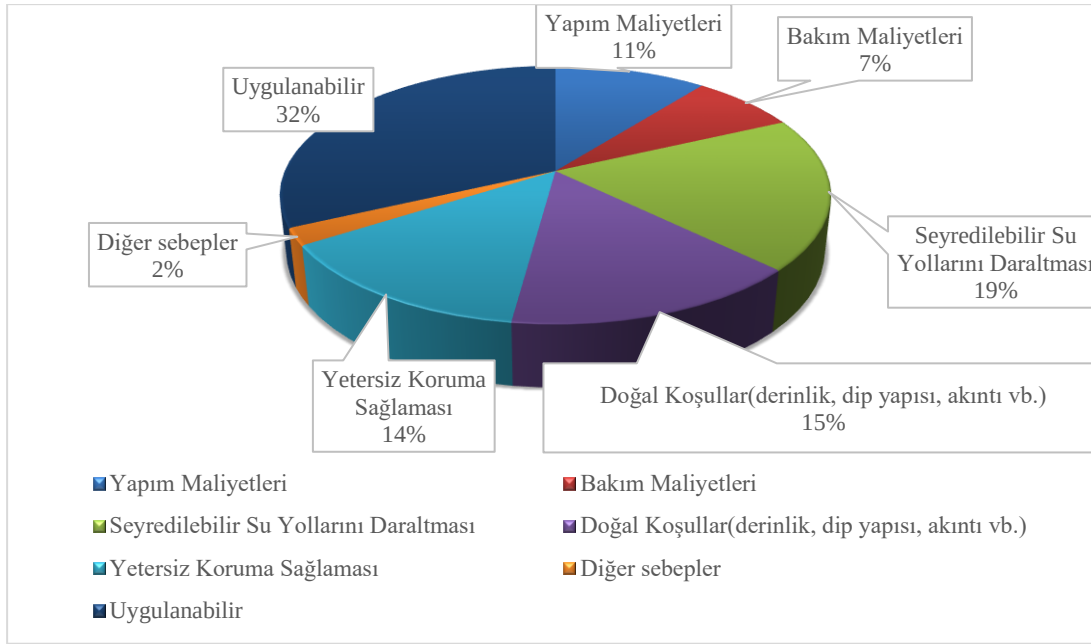


Şekil 4.20: Kılavuz yapıların etki, önem ve uygulanabilirlik dereceleri istatistiği.

Alınan cevaplara bakıldığında; koruyucu bir tedbir olarak kılavuz yapıların gemi-köprü kazalarının oluşması halinde yeterliliği uzmanlar tarafından ortalama 7/10 olarak belirlenmiştir. Kılavuz yapıların 1915 Çanakkale Köprüsü açısından uygulanabilirliği ise ortalama 6,4/10 şeklinde elde edilmiştir.

Buna göre; kılavuz yapıların köprü ayaklarına gemi çarpması durumunda koruyuculuğu bakımından etki ve önem derecesi genel olarak orta derecede bulunmuştur. Yine bu koruma tedbiri 1915 Çanakkale Köprüsü için uzmanlar tarafından çoğunlukla uygun bulunmamıştır.

Kılavuz yapıların 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanamayacağının ya da teknik olarak uygulanması mümkün olsa dahi uygulanmasının mantıklı olmayacağının düşünülmesinin sebepleri katılımcı grubuna sorulmuş ve alınan cevapların dağılımı **Şekil 4.21**'de gösterilmiştir.



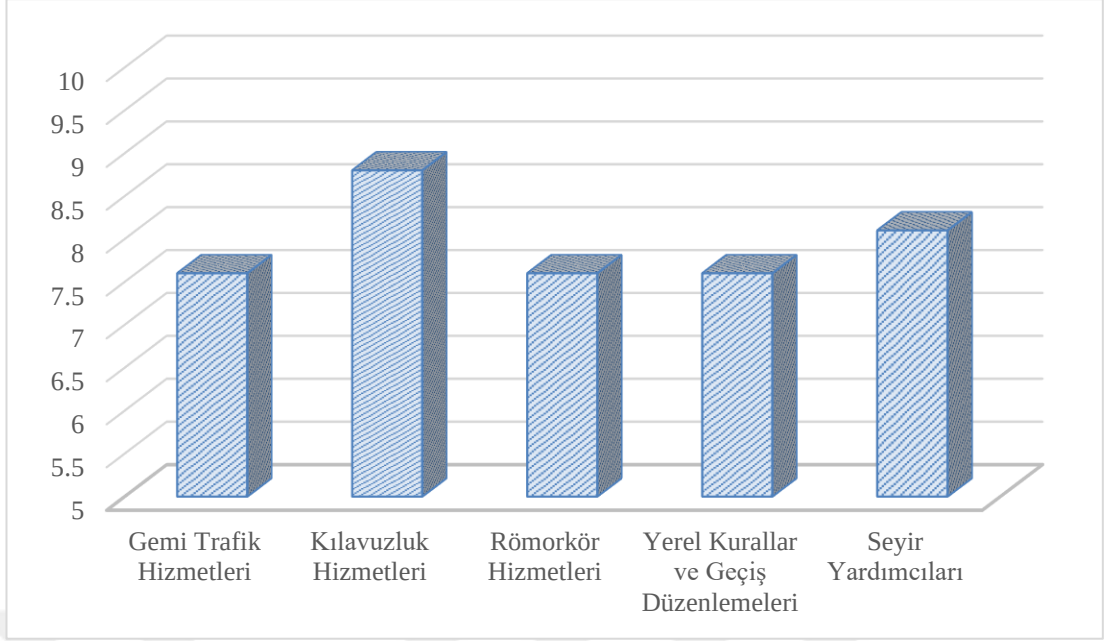
Şekil 4.21: Kılavuz yapıların uygulanamama sebepleri.

Sonuç olarak, uzmanlar köprü ayaklarının çevresine kılavuz yapılar yapılmasının 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanmasını kısmen uygulanabilir bulmuşlardır. Bunun yanında; doğal koşullar, sağlayacağı korumanın yetersizliği, seyir yollarını daraltması, gibi sebepler bu tedbirin uygulanmasının önünde başlıca engeller olarak görülmüştür. Uzmanların düşünceleri göz önüne alındığında, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için koruyucu bir tedbir olarak kılavuz yapıların kullanılması konusunda bu tedbirin kısmen uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

4.6 Koruyucu ve Önleyici Tedbirlerin Önem, Yeterlilik ve Uygulanabilirlik Analizi

4.6.1 Önleyici tedbirlerin önem ve yeterlilik analizi

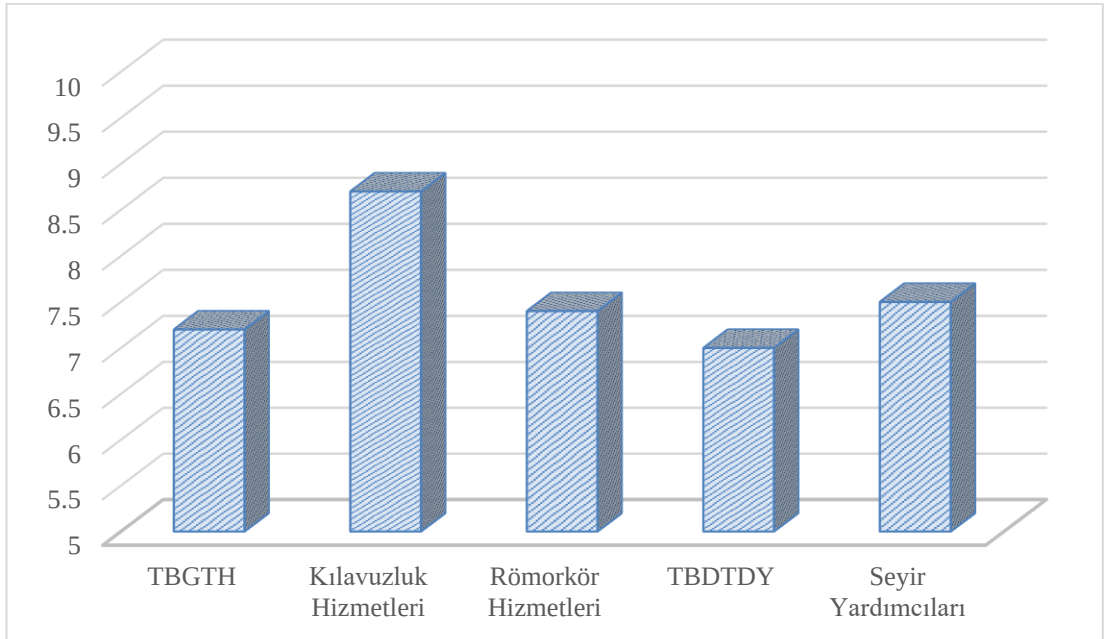
Anket sonuçlarına göre; dar su yollarında yer alan köprülerin ayaklarına gemilerin çarpmasını engellemeye yönelik uygulanan önleyici tedbirlerin önemi ve etkinliği açısından birbirlerine göre değerlendirmeleri **Şekil 4.22**'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.22: Önleyici tedbirlerin önem ve etkinlik değerlendirmesi.

Buna göre; gemilerin köprü ayaklarına çarpmalarını engellemek için uygulanan önleyici tedbirler arasında en büyük öneme sahip olan tedbirin kılavuzluk hizmetleri olduğu düşünülmektedir. Kılavuzluk hizmetlerini, fenerler ve şamandıralar gibi uygun seyir yardımcılarının donatılması izlemektedir.

1915 Çanakkale Köprüsü'nde uygulanan önleyici tedbirlerin yeterliliği ise **Şekil 4.23**'de gösterilmiştir.



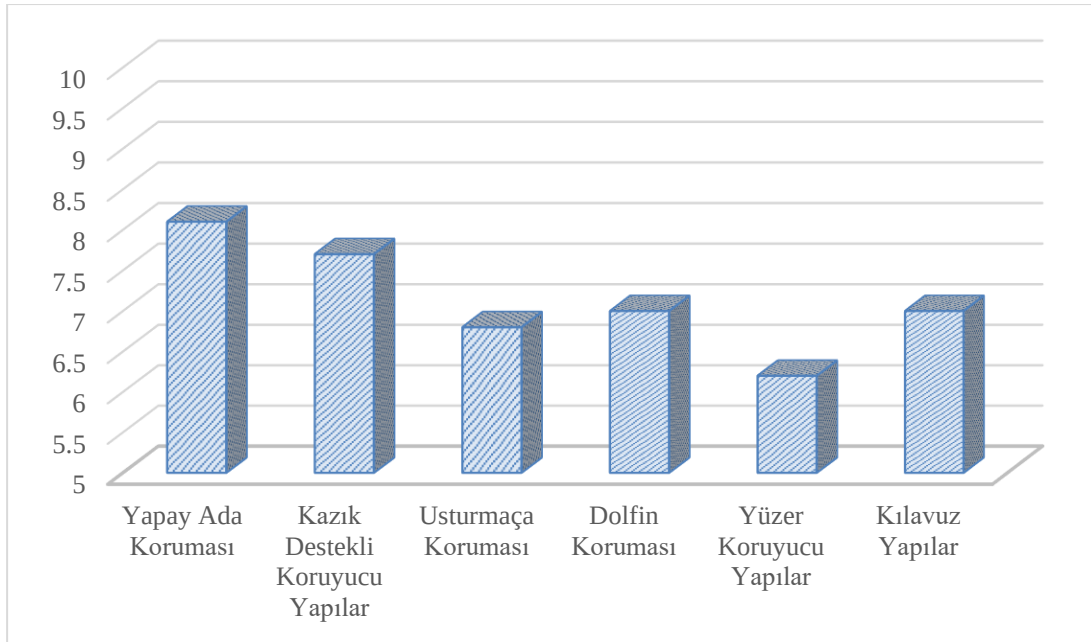
Şekil 4.23: 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanan önleyici tedbirlerin yeterliliği.

Benzer şekilde, 1915 Çanakkale Köprüsü için uygulanan önleyici tedbirler arasında en yüksek yeterliliğe sahip tedbirin yine kılavuzluk hizmetleri olduğu görülmektedir. İki grafik birbiriyle karşılaştırıldığında, uygulanan önlemlerin etkinlik derecelerine göre benzer sonuçlar vermesi halinde azami yeterlilikte hizmet verdikleri sonucuna varılabilir. Bu durumda; özellikle TBGTDT'nin yeterliliğinin önemine nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Benzer durum seyir yardımcıları için de geçerlidir.

Sonuç olarak; 1915 Çanakkale Köprüsü için gemi kazalarını engellemek adına uygulanan önleyici tedbirlerden kılavuzluk hizmetleri, TBGTH ve römorkör hizmetlerinin yeterliliklerinin azami derecelerde olduğu, buna karşın TBGTDT ve seyir yardımcılarının genel olarak yeterli görülmeyle birlikte eklemeler ve düzenlemeler ile azami yeterlilik derecesine daha da yaklaştırılabilecekleri görülmektedir.

4.6.2 Koruyucu tedbirlerin önem ve uygulanabilirlik analizi

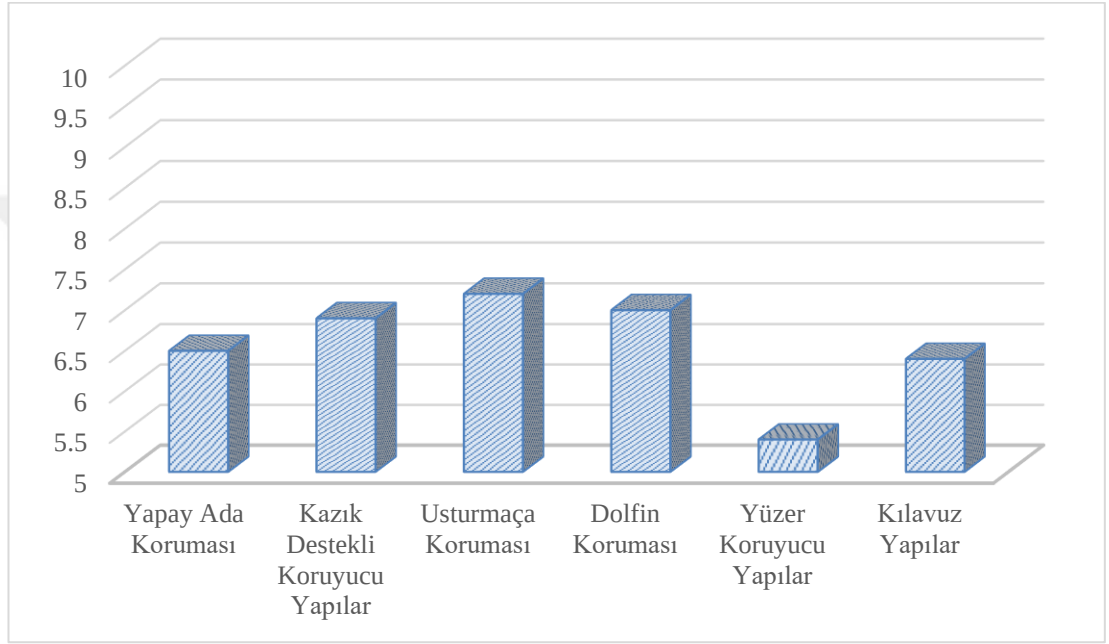
Anket sonuçlarına göre; dar su yollarında yer alan köprülerin ayaklarına gemilerin çarpması durumunda çarpma şiddetini ve gemi, köprü, çevre, canlı yaşamı açısından doğacak olumsuz sonuçları azaltmaya yönelik uygulanabilecek koruyucu tedbirlerin önemi ve etkinliği açısından birbirlerine göre değerlendirilmeleri Şekil 4.24'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.24: Koruyucu yapıların önem ve etkinlik dereceleri.

Uzman görüşleri neticesinde elde edilen sonuçlara göre, dar su yollarında yer alan köprülerin ayaklarına gemilerin çarpması durumunda en etkin tedbirin yapay ada koruması olduğu görülmektedir. Bu tedbiri sırasıyla; kazık destekli koruyucu yapılar, delfin koruması, kılavuz yapılar, usturmaça koruması ve yüzer koruyucu yapılar izlemektedir.

Bu koruyucu tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü'nde uygulanabilirliği açısından değerlendirilmeleri ise **Şekil 4.25**'de verilmiştir.



Şekil 4.25: Koruyucu tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü'nde uygulanabilirlikleri.

Uzman katılımcı grubu tarafından; yapım ve bakım maliyetleri, doğal çevre koşulları, korumanın yeterliliği, seyredilebilir su yolu genişliği gibi etkenleri göz önünde bulundurularak dünya üzerinde gemi-köprü kazalarına karşı uygulanan koruyucu tedbirlerin 1915 Çanakkale Köprüsü'ne uygulanabilirlikleri değerlendirilmiştir. Buna göre; yapay ada korumasının en yüksek koruyuculuğa sahip olduğu düşünülmese de rağmen, özellikle derinlik, akıntı, seyredilebilir su yolu genişliğini azaltması, yapım ve bakım maliyetleri sebebiyle 1915 Çanakkale Köprüsü için düşük bir uygulanabilirlik oranına sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan, usturmaça koruması, nispeten düşük koruyuculuk sağlamasına karşın en uygulanabilir yöntem olarak görülmüştür. Usturmaça korumasını sırasıyla; delfin koruması, kazık destekli koruyucu yapılar, yapay ada koruması, kılavuz yapılar ve yüzer koruyucu yapılar izlemektedir.



5 BULANIK MANTIK TABANLI GERÇEK-ZAMANLI GEMİ-KÖPRÜ ÇARPIŞMA RİSK DEĞERLENDİRME MODELİ ÖNERİSİ VE ÖRNEK UYGULAMA: 1915 ÇANNAKLE KÖPRÜSÜ

5.1 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Kavramı

İlk olarak 1965 yılında Lutfi Aliasker Zade tarafından ortaya koyulan bulanık mantık kavramı, günümüzde akademik çalışmalarda ve gerçek dünyada sıklıkla kullanılan önemli bir karar verme ve risk analizi metodudur. Bilgisayarlarda genellikle kullanılan ikili tabanlı mantık sistemlerinde bir problemin sonucu 1 ya da 0 olarak elde edilebilmektedir. Diğer bir deyişle, bir şey siyah veya beyazdır, uzun veya kısadır, sıcak veya soğuktur. Ara değerler görmezden gelinmektedir. Örneğin; bir bilgisayar tabanlı ikili mantık sistemine, ortam sıcaklığı için sınır değer 25 derece olarak girildiğinde, sistem 25 derecenin altındaki değerleri soğuk, 25 derece ve üstündeki değerleri ise sıcak olarak kabul edecektir. Bu durumda sistem 24 dereceye soğuk, 26 dereceye sıcak diyecektir. Ancak bu sonuçlar gerçek dünyayı yansıtmakta yetersiz kalmaktadır. Çünkü gerçek dünya da gri de orta boy ya da ılık da bir karşılığı olması gereken ifadelerdir. İşte bulanık mantık, bu ara değerleri üretebilmeleri için makinelere yardımcı olan bir makine zekâsı biçimidir.

Klasik küme teorisinde, önermeler sadece 0 veya 1 doğruluk değerini alabilmektedir. Diğer bir deyişle, bu teoride; x elemanı, A kümesine ait ise üyelik derecesi 1, A kümesine ait değil ise üyelik derecesi 0'dır. Yani, bir eleman ya tamamen bir kümeye aittir ya da ait değildir. Klasik bir A kümesinin üyelik derecesini matematiksel olarak denklem 5.1 ve denklem 5.2'de gösterildiği gibi tanımlayabiliriz. X , boş bir küme olsun. X 'deki klasik bir küme A , üyelik fonksiyonu $x_A: X \rightarrow \{0, 1\}$ ile ifade edilir ve her $x \in X$ için klasik küme A 'daki x elemanının üyelik derecesi olarak yorumlanır.

$$x_A: X \rightarrow \{0, 1\} \quad (5.1)$$

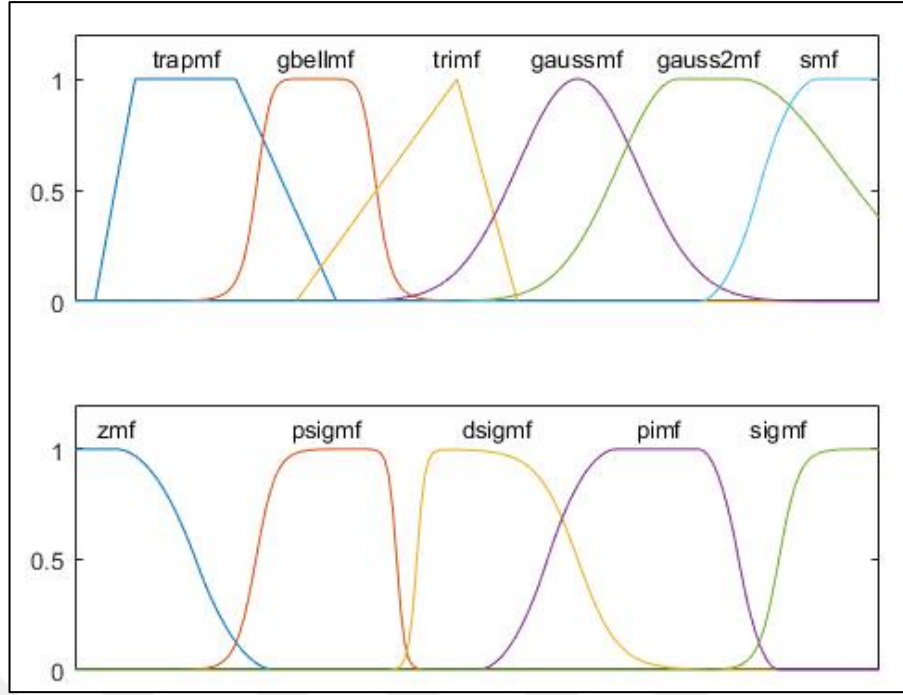
$$\forall x \in X, x_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (5.2)$$

Bulanık küme teorisinde ise önermeler $[0, 1]$ aralığında bulunan bir üyelik derecesine sahiptir. Bulanık bir kümenin üyelik değerleri süreklidir. Yani, üyelik işlevi için 0 ile 1 arasında değişen bir değer atanabilir. Bulanık küme kavramı, matematiksel olarak denklem 5.3'te gösterildiği gibi tanımlanabilir. X , boş bir küme olsun. X 'deki bulanık bir küme A , üyelik fonksiyonu $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ veya $\mu_A(x)$ ile ifade edilir ve her $x \in X$ için bulanık küme A 'daki x elemanının üyelik derecesi olarak yorumlanır. $\mu_A(x)$ yerine sıklıkla $A(x)$ kullanılır.

$$A: X \rightarrow [0,1] \quad (5.3)$$

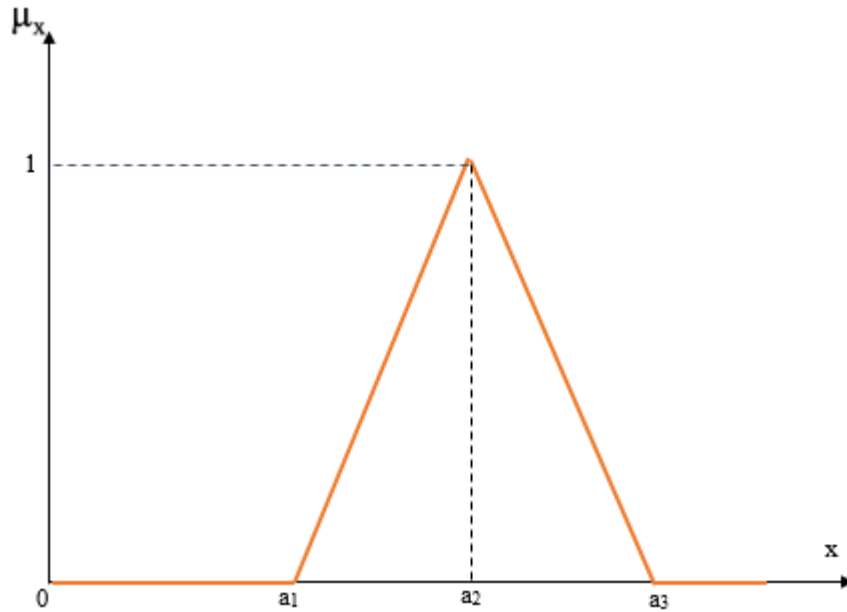
Bulanık mantık belirsiz bir dünyanın gri, sağduyulu resimlerini üretmeleri için bilgisayarlara yardımcı olmaktadır. Bulanık mantık uygulama alanları kontrol sistemlerinin de ötesine uzanmaktadır. Bu konudaki gelişmeler, bulanık mantığın; mühendislik, fizik, biyoloji ya da ekonomi gibi pek çok konuda, sürekli sistemleri modellemek üzere kullanılabileceğini göstermektedir. Çoğu alanda bulanık mantık sezgisel modellerinin standart matematik modellerinden daha yararlı ya da kesin sonuçlar verdiği görülmektedir (Alcı & Karatepe, 2002). Ortam sıcaklığına göre hangi hızda ve hangi derecede çalışması gerektiğini kendisi ayarlayabilen bir klima, bu karar vermeyi bulanık mantık sayesinde yapabilmektedir. Benzer şekilde, arabaların otomatik şanzıman sistemlerinde, fotoğraf makinalarında, buzdolaplarında, çamaşır makinalarında ve günlük hayatta kullandığımız daha birçok elektronik üründe bulanık mantık kullanılmaktadır.

Üyelik işlevleri, bulanıklaştırma ve durulaştırma aşamalarında bulanık olmayan girdi değerlerinin bulanık dilsel değişkenler ile eşleştirilmesi için kullanılmaktadır. Dilsel değişkenler, sayısal değerler yerine kullanılan ve bir dilde karşılığı olan kelimelerden oluşan sistemin girdi veya çıktı değişkenleridir. Literatürde, üyelik fonksiyonları, fonksiyon biçimleri veya geometrik şekil benzerlikleri ile ele alınmaktadır (**Şekil 5.1**). Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonları; üçgen, yamuk, Gauss dağılım fonksiyonu, cauchy, s/z şeklindeki sigmoid eğrileri, laplas, sinc, lojik, hiperbolik tanjant, tek darbe üyelik işlevleri vb. ile sınıflandırılır (Göksu, 2021).



Şekil 5.1: Üyelik fonksiyonları.

Bu tez çalışmasında, en sık kullanılan üyelik fonksiyonlarından olan üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonları, üç değişken barındırmaktadır. $A = (a_1, a_2, a_3)$ bulanık kümesini ele alalım. A bulanık kümesinde a_2 değeri fonksiyonun tepe noktasını ve a_1 ile a_3 değerleri fonksiyonun sınırlarını ifade etmektedir. Bu küme için tanımlanan üçgen üyelik fonksiyonu **Şekil 5.2**'de gösterilmiştir.

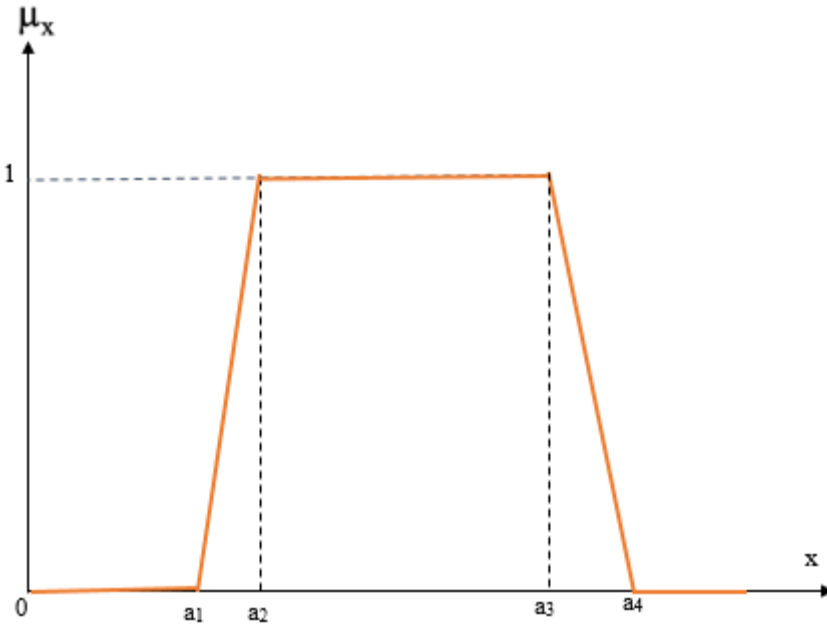


Şekil 5.2: Üçgen üyelik fonksiyonu.

Üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonları denklem 5.4'te gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{(x-a_1)}{(a_2-a_1)}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{(a_3-x)}{(a_3-a_2)}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (5.4)$$

Yamuk üyelik fonksiyonları ise 4 değişken barındırmaktadır. $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ bulanık kümesini ele alalım. Bu küme için tanımlanan yamuk üyelik fonksiyonu **Şekil 5.3**'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Yamuk üyelik fonksiyonu.

Üçgen bulanık sayıların üyelik fonksiyonları denklem 5.5'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

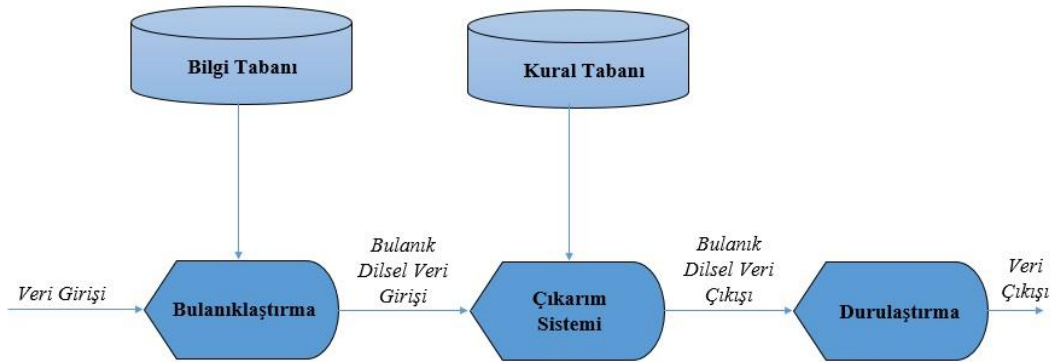
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ & \text{veya} \\ & x > a_4 \\ \frac{(x-a_1)}{(a_2-a_1)}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{(a_4-x)}{(a_4-a_3)}, & a_3 \leq x \leq a_4 \end{cases} \quad (5.5)$$

5.2 Bulanık Mantık Tabanlı Sistem

Bu tez çalışmasında bulanık mantık tabanlı bir sistem önerilmiştir. Bulanık mantık tabanlı sistemlerde en yaygın kullanılan modellerden biri olan Mamdani modeli tercih edilmiştir.

Bir Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi beş adımdan oluşmaktadır (Şekil 5.4):

- Kural tabanının oluşturulması,
- Bilgilerin bulanıklaştırılması,
- Bulanık çıkarım motoru,
- Kural çıktılarının bir araya getirilmesi,
- Durulaştırma (Sivanandam, Sumathi, & Deepa, 2007).



Şekil 5.4: Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi.

5.2.1 Kural tabanı

Bulanık mantık tabanlı sistemlerde girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin sınırlarını belirleyen kural tabanıdır. Bu kurallar, alanında uzman kişiler tarafından oluşturulan “eğer-ise” bilgilerinin toparlanması ile belirlenmektedir. Örneğin; “**EĞER** akıntı hızı yüksek **İSE** çarpışma riski yüksektir.” kuralı, tek öncül ve tek sonucu olan bir eğer-ise kuralıdır. Bulanık çıkarım sistemlerinde birden fazla giriş verisi olması durumunda eğer-ise kuralları da birden fazla öncüle sahip olacaktır. Örneğin; “**EĞER** rüzgâr orta **VE** akıntı hızı düşük **VE** görüş mesafesi orta **İSE** çarpışma riski ortadır.” kuralı birden fazla öncüle ve tek sonuca sahip bir **eğer-ise** kuralıdır.

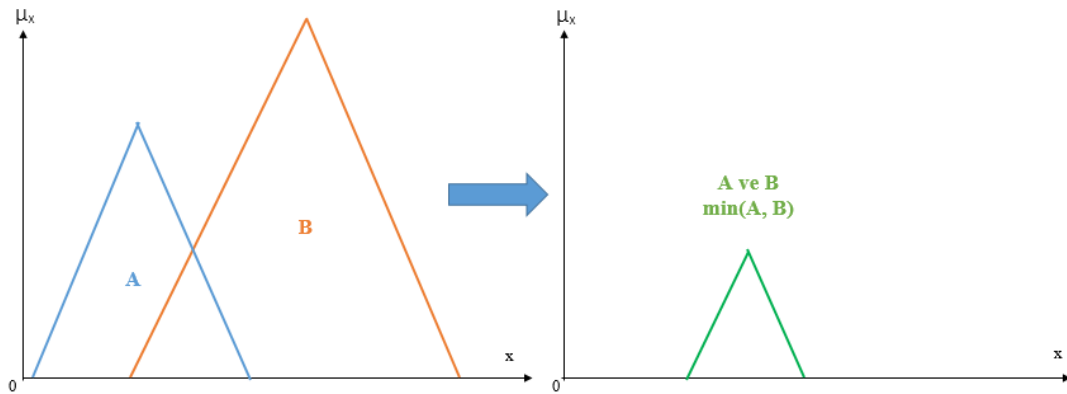
5.2.2 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma aşaması, giriş verilerinin kullanıcının bilgi ve tecrübeleri vasıtasıyla dilsel ifadelerle dönüştürülmesini kapsar. Örneğin; rüzgâr hızı girdisini ele alalım. rüzgâr hızı knot cinsinden; (0, 2.5, 5) aralığında ise düşük, (2.5, 5, 7) aralığında ise orta, (5, 8, 11) aralığında ise yüksek olarak kabul edelim. rüzgâr hızının sayısal verileri, böylece düşük-orta-yüksek olarak dilsel ifadelerle dönüştürülmüştür.

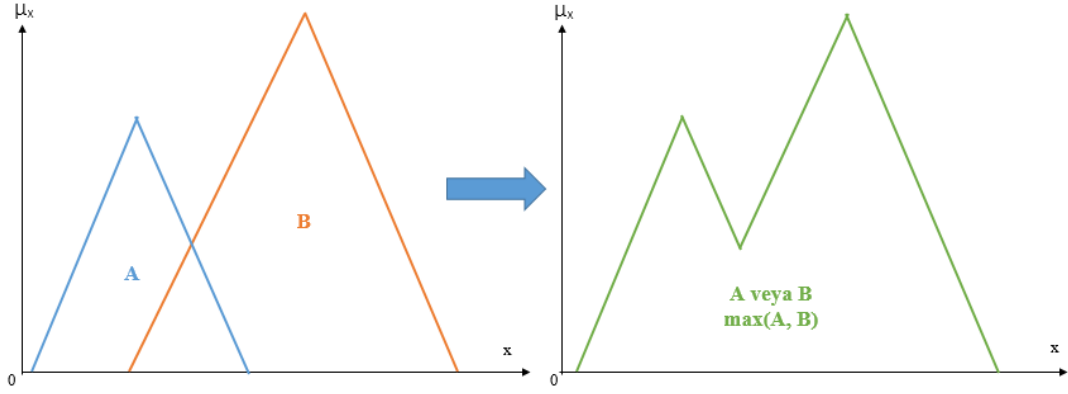
5.2.3 Bulanık çıkarım motoru

Bulanık çıkarım motoru, uzman bilgilerinden elde edilen eğer-ise kuralları çerçevesinde girdiler ile çıktı arasındaki ilişkiyi belirlemektedir. Eğer-ise kuralları, net girdi değişkenlerini bulanıklaştırarak kontrol sisteminin bir parçası haline getirmektedir. Böylece bulanık kural tabanı vasıtasıyla bulanık girdi değerleri, bulanık çıktı kümelerine dönüştürülmektedir (Göksu, 2021).

Sistemde birden fazla girdi olması durumunda, öncüller “VE (AND)” ve “VEYA (OR)” bağlaçları kullanılarak birleştirilebilmektedir. VE bağlacı (Şekil 5.5) kullanılması durumunda üyelik fonksiyonunun küçük değeri VEYA bağlacı (Şekil 5.6) kullanılması durumunda üyelik fonksiyonunun büyük değeri kullanılmaktadır.



Şekil 5.5: VE bağlacı ile A ve B kümelerinin kesişimi.



Şekil 5.6: VEYA bağlacı ile A ve B kümelerinin birleşimi.

5.2.4 Kural çıktılarının bir araya getirilmesi

Bulanık çıkarım motorunda, her bir kural için bir bulanık küme elde edilir. Daha sonra, elde edilen bu bulanık kümeler toplanır ve her çıktı değişkeni için yeni bir bulanık küme elde edilir. Her bir kuralın sonucu; max (maksimum), prob (olasılıksal) ve sum (her bir kural çıktısının toplamı) gibi farklı şekillerde birleştirilebilir. Literatürde en çok kullanılan bulanık çıkarım sistemleri Sugeno ve Mamdani modelleridir. Sugeno modelinde öncül bulanık bir önerme, çıktı net bir sonuçtur. Mamdani modelinde ise öncül de çıktı da bulanık önermelerden oluşur. Dolayısıyla, Mamdani modeli daha insani ve daha sezgisel sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar (Akyüz ve diğ., 2016). Bu tez çalışmasında Mamdani modeli çıkarım sistemi kullanılmıştır. Çıkarım yöntemi olarak min, toplama yöntemi olarak max tercih edilmiştir.

5.2.5 Durulaştırma

Durulaştırma aşaması, bulanık çıkarım sisteminin son aşamasıdır. Bulanık çıkarım sisteminde, kural tabanı çerçevesinde çıkarım motorundan elde edilen sonuç bulanık bir değerdir. Net bir değer elde edilebilmesi için çıktı değerinin üyelik fonksiyonları tersine kullanılmaktadır. Bu işlem durulaştırma olarak adlandırılır.

Literatürde; ağırlık merkezi yöntemi, yükseklik yöntemi, en büyük değerlerin ortalaması yöntemi, iki bölge yöntemi, kümelerin merkezi yöntemi gibi çeşitli durulaştırma yöntemleri yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem; birleşik çıkarım şeklinin ağırlık

merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması ilkesine dayanmaktadır (Murat, 2006). Ağırlık merkezinin hesaplanması denklem 5.6’da gösterildiği gibi yapılmaktadır.

$$y_{merkez} = \frac{\int \mu(y)ydy}{\int \mu(y)dy} \quad (5.6)$$

5.3 Bulanık Mantık Tabanlı Gemi-Köprü Çarpışma Risk Değerlendirme Modelinin Metodolojisi

Gemi-köprü kazaları için alınabilecek tedbirler arasında önleyici tedbirlerin öneminden daha önce ayrıntılı olarak bahsedilmişti. Bir gemi-köprü kazasında olası zararların önlenmesi için, bu kaza oluşmadan önce riskin belirlenmesi ve gerekli tedbirlerin zamanında alınması hayati önem taşımaktadır. Daha önce gemi-gemi kazalarından kaçınmak (Jin-Hyeong ve diğ, 2012); (Roman & Andrzej, 2003) ve gemi-köprü kazalarından kaçınmak (Wu ve diğ, 2019) için bulanık mantık tabanlı sistemlerin oluşturulmasıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada oluşturulan risk modeli sayesinde dinamik faktörler ve çevresel faktörler dar su yollarında bulunan köprülerden geçişleri boyunca, bulanık mantık kullanılarak, oluşturulan kurallar sistemi çerçevesinde analiz edilmekte ve çarpışma riskinin hesaplanması sağlanmaktadır. Risk analizi yapılırken anlık ve gerçek zamanlı veriler kullanılmaktadır. Bu açıdan, tarihsel veriler kullanılarak oluşturulan diğer risk değerlendirme yöntemlerinin sunduğu genel sonuçlardan farklı olarak, bu yöntem belirli bir gemi ve belirli bir köprü özelinde uygulanabilmektedir. Gerçek zamanlı veriler anlık olarak radar, AIS gibi sistemlerden edinildiğinden, bu risk modeli farklı farklı senaryolarda kullanılabilmektedir.

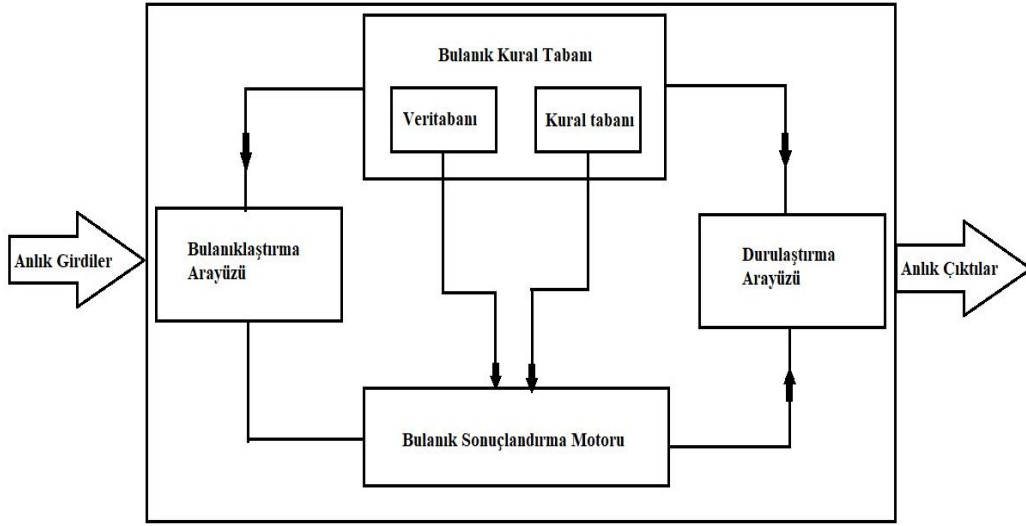
5.4 Risk Modelinin Oluşturulması

Bulanık mantık tabanlı risk modeli, riskin saptanması ve karar vermeye yardımcı olması için gerçek-zamanlı verileri bulanıklaştıran, oluşturulan kurallar sistemi çerçevesinde sonuç çıktılarını elde eden ve bu sonuçları durulaştırarak sözsel değişkenlere dönüştüren üç katmanlı matematiksel bir modeldir.

Birinci katman; gerçek zamanlı anlık verileri içeren “girdiler katmanı”dır. Bu katman, iki tip girdinin birleşiminden oluşmaktadır. Bunlardan ilki; geminin köprüye olan

yatay ve dikey uzaklıkları, geminin rotadan sapma derecesi ve geminin hızı etkenlerinden oluşan “dinamik faktörler” girdisidir. Diğerleri ise; rüzgâr hızı, deniz durumu, görüş uzaklığı, gece/gündüz geçiş durumu etkenlerinden oluşan “doğal çevre faktörleri” girdisidir.

İkinci katman; girdilerin çıktılarına dönüştürüldüğü “bulanık sonuçlandırma sistemi (FIS)” dir (Şekil 5.7). Bu katmanda girdi değerleri sözsel değişkenler kullanılarak



Şekil 5.7: Bulanık Sonuçlandırma Sistemi (FIS).

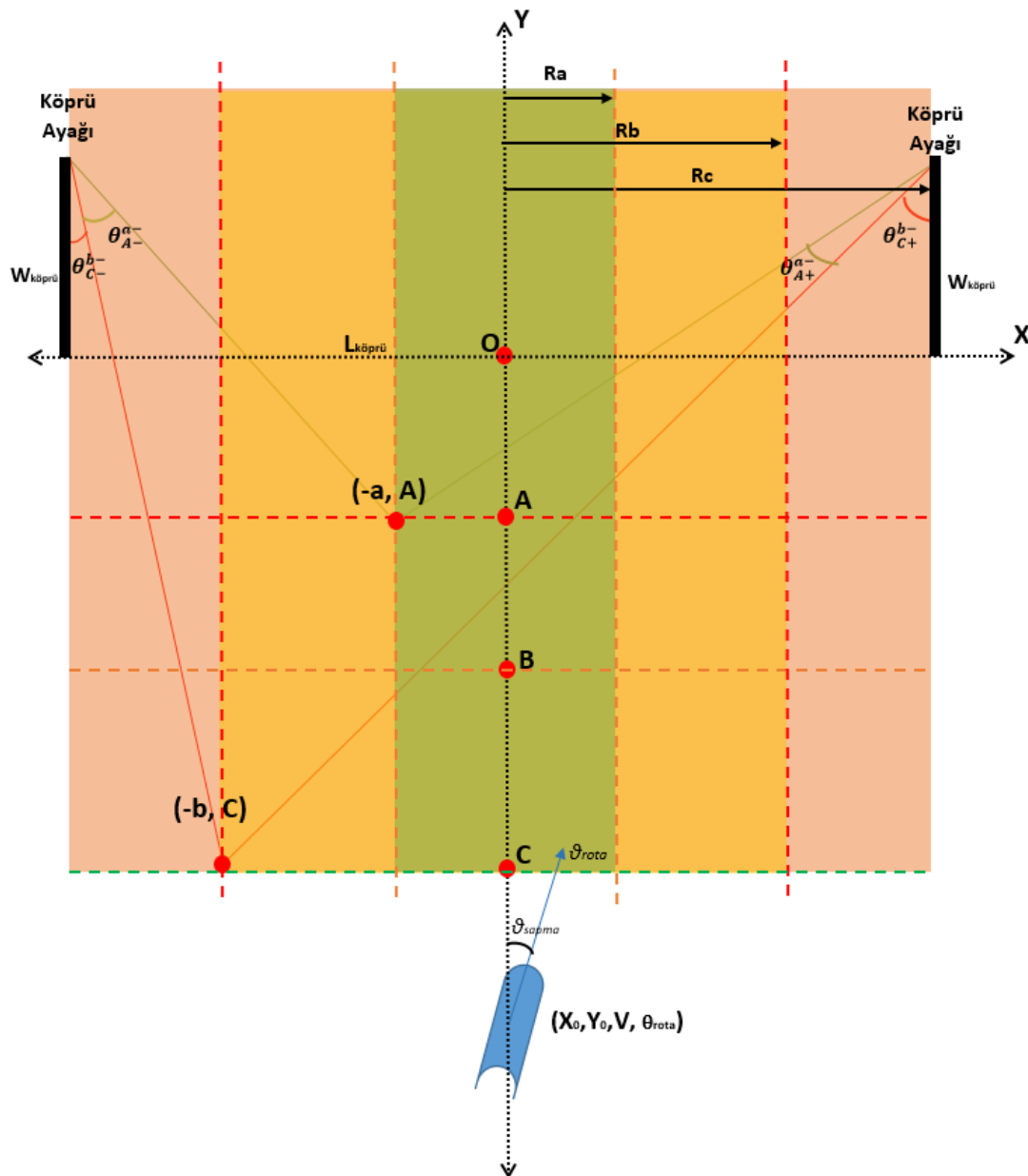
bulanıklaştırılır. Birçok EĞER-İSE kuralından oluşan bulanık kural tabanı çerçevesinde, bulanık çıkarım motorundan geçer. Son olarak elde edilen bulanıklaştırılmış sonuçlar, durulaştırma arayüzünden geçerek anlık çıktılarına dönüştürülür. Bu katmanda oluşturulan kurallarda AIS’ten elde edilen anlık veriler ve çevre bilgileri sisteme tanıtılmaktadır.

Üçüncü katman; sonuç değerlerinin elde edildiği “**çıktılar katmanı**” dır. Bu katmanda gemi-köprü kaza riski için matematiksel değerler elde edilmekte ve risk değerlendirmesi sonuçlandırılmaktadır. Çıkan çarpışma riski değerlerine göre, olası kaza riskinin erkenden tespit edilmesi ve kazadan kaçınma tedbirlerinin zamanında alınmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

Bütün işlemler, MatLAB uygulaması içerisindeki “fuzzy logic tool” fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.4.1 Geminin davranışını etkileyen dinamik faktörlerin belirlenmesi

Geminin seyri esnasında davranışını etkileyecek faktörler literatürdeki çalışmalardan edinilen bilgilerden, geçmişte yaşanan kazalardan ve uzman görüşlerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Buna göre, oluşturulan risk değerlendirme modelinde dinamik faktörler; geminin köprüye dikey uzaklığı, geminin köprü merkezine yatay uzaklığı, geminin rotadan sapma açısı ve geminin hızı olarak belirtilmiştir (**Şekil 5.8**).



Şekil 5.8: Gemi davranışını etkileyen dinamik faktörler.

İki köprü ayağı arasındaki uzaklık $L_{köprü}$, köprü tabyasının genişliği $W_{köprü}$ olarak tanımlanmıştır. $L_{köprü}$ ve $W_{köprü}$ değerlerinin tam orta noktası koordinat düzleminin merkezi (**O noktası**) kabul edilmiştir.

Bu koordinat düzleminde X düzlemi köprünün merkezine olan yatay uzaklığı, Y düzlemi ise dikey uzaklığı ifade etmektedir. Buna göre; köprünün altından geçmek için ilerleyen bir geminin konumu; (X_0, Y_0) , hızı; V , rotası; θ_{rota} olarak gösterilmektedir. O noktasından geçen ve Y eksenine paralel olan hat en düşük riske sahip geçiş rotası olmak üzere, yatay düzlemde bu hattan uzaklaştıkça köprü ayaklarına yakın düşme ve çarpışma riski artmaktadır. R_p ($p=a, b, c$) olan üç bölge yatay uzaklık bakımından risk bölgelerini belirtmektedir. L_{0w} ($w=A, B, C, D$) noktaları köprüye olan dikey uzaklıkları belirtmektedir. θ_{sapma} ; geminin Y koordinat düzleminde sapma derecesini ifade eder. θ_{sapma} , belirlenen maksimum sapma derecelerinin arasında bir değer olmalıdır ($-\pi \leq \theta_{sapma} \leq \pi$). θ_{sapma} değeri, θ_{rota} değerine etki eden akıntı ve rüzgâr gibi çevresel faktörler ile artar ya da azalır. θ_{sapma} arttıkça, geminin köprü ayaklarına çarpma ihtimali de doğru orantılı olarak artar. $(\pm p, -w)$ konumundaki bir geminin iskele taraftaki köprü ayağına çarpması için gereken θ_{sapma} değeri $\theta_{-w}^{\pm p}$, sancak taraftaki köprü ayağına çarpması için gereken θ_{sapma} değeri $\theta_{+w}^{\pm p}$ şeklindedir. Riskin belirlenmesi işlemi, karşı önlemlerin alınabilmesi için yeterli zamana sahip olabilmek adına, gemi-köprü arasındaki mesafe çok fazla azalmadan gerçekleştirildiğinden, bu çalışmada, açılar belirlenirken gemi boyutları dikkate alınmamış, gemi bir nokta olarak kabul edilmiştir.

5.4.2 Risk faktörlerinin bulanıklaştırılması

Gemi-köprü kaza riskini oluşturan faktörleri, girdiler başlığı altında iki gruba ayırmıştık. Bunlardan ilki; dikey ve yatay uzaklık, sapma derecesi ve gemi hızından oluşan dinamik faktörler, ikincisi ise; rüzgâr hızı, deniz durumu, görüş uzaklığı ve gündüz/gece etkenlerinden oluşan çevresel faktörler olarak belirtilmiştir. Bu risk faktörleri belirlendikten sonraki aşama, risk faktörlerinin bulanıklaştırılması işlemidir.

Bu işlem için ilk adım, çarpışma riskinin bulanıklaştırılmasıdır. Girdi değerleri, bulanık sonuçlandırma sistemi (FIS)'den çıktıktan sonra elde edilecek çıktılar olan çarpışma riski değerleri için, daha önceki çalışmalarda da kullanıldığı gibi (Wu ve diğ., 2019), $<0,1>$ aralığı tercih edilmiştir. Buradaki 0 değeri; çarpışma riskinin olmadığı,

1 değeri; geminin köprü ayağına çarptığı durumu ifade etmektedir. 0,6 ve üzerindeki değerler kabul edilemeyecek risk olasılığı olarak belirlenmiştir. Bu işlem için beş sözel değer seçilmiştir; çok düşük (0, 0, 0.25), düşük (0, 0.25, 0.5), orta (0.25, 0.5, 0.75), yüksek (0.5, 0.75, 1), çok yüksek (0.75, 1, 1). Durulaştırma arayüzünden çıkan değer 0.2 düşük risk, 0.8 orta risk olarak elde edilmişse, bunun gösterimi $A = \{(düşük, 0.2), (orta, 0.8)\}$ şeklindedir. Bu gösterim, benzer şekilde bütün sözel değerlere uygulanabilir.

Bir sonraki adım, risk faktörlerinin sözel değişkenler kullanılarak bulanıklaştırılmasıdır. Sözel değişkenler belirlenirken, sayılarının fazla ya da az olmamasına özen gösterilmiştir. Değişken sayısının çok fazla olması durumunda yüksek miktarda olasılık ortaya çıkacağından, yine çok fazla kural oluşturulması gerekecek ve model karmaşık bir hal alacaktır. Öte yandan, çok az değişken olması, modelin güvenilirliği açısından negatif bir etki yaratacaktır. Bu sebeple, genel olarak üç sözlü değişken kullanılmıştır. Örneğin; görüş mesafesi faktörü için “iyi, orta, zayıf” değişkenleri seçilmiştir. Bulanıklaştırma yapılırken, en sık kullanılan üyelik fonksiyonlarından olan “üçgen üyelik fonksiyonu” ve “yamuk üyelik fonksiyonu” kullanılmıştır. Görüş mesafesi örneğinde, “orta” sözel değişkeni için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmış, böylece orta değerden uzaklaştıkça sözel değişkenin de bu oranda değişmesine olanak sağlanmıştır. Ancak, iyi ve zayıf değişkenlerinde yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Böylece, görüşün iyi olması için belirlenen 4,4 mil değerinden daha yüksek bir görüş mesafesi olduğunda, sonuç değeri olan iyi sözel değişkeninin “1” değerinde kalması sağlanmıştır. Aynı şekilde, görüşün kötü kabul edilmesi için belirlenen değerın altında bir görüş mesafesi olduğunda, sonuç değeri olan zayıf sözel değişkeninin “0” değerinde kalması sağlanmıştır.

Bütün faktörler için ilgili sözel değişkenlerin temsil ettikleri sayısal değer aralıkları, oluşturulan 10 kişilik uzman grubuna **EK-B**'de verilen anketin uygulanmasıyla elde edilen verilerin ortalaması hesaplanarak belirlenmiştir. Uzmanların 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde her bir faktörün risk değeri için verdiği cevaplar **EK-C**'de verilmiştir. Alınan ortalamalar sonucunda elde edilen sonuç değerleri **Çizelge 5.1**'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Uzman verileri.

			Uzman1	Uzman2	Uzman3	Uzman4	Uzman5	Uzman6	Uzman7	Uzman8	Uzman9	Uzman10	
UZMAN BİLGİLERİ	Meslek		Emekli Kılavuz Kaptan	Akademisyen	Akademisyen	GTH Operatörü	GTH Operatörü	Uzakyol Kaptanı	Kılavuz Kaptan	Kılavuz Kaptan	Kılavuz Kaptan	Akademisyen	
	Mesleki Tecrübe		≥16	(6, 10)	≥16	≤5	≤5	(11, 15)	≥16	≥16	≥16	≥16	
	Deniz Tecrübesi		≥16	≤5	(6, 10)	(11, 15)	(11, 15)	(11, 15)	≥16	≥16	≥16	≤5	
	Öğrenim Durumu		Lisans	Doktora	Doktora	Yüksek Lisans	Lisans	Lisans	Yüksek Lisans	Lisans	Lisans	Doktora	
	Risk Faktörü	Risk Derecesi	Uzman1	Uzman2	Uzman3	Uzman4	Uzman5	Uzman6	Uzman7	Uzman8	Uzman9	Uzman10	SONUÇ
DİNAMİK FAKTÖRLER	Dikey Mesafe	D	Köprüye 5000 metre kala risk hesaplamaları başlayacaktır.										
		O	8	7	5	8	8	8	10	8	12	10	8,4
		Y	6	4	3	4	5	4	10	6	10	4	5,6
	Gemi Hızı	D	10	10	12	9	10	10	8	10	10	10	9,9
		O	6	7	4	8	7	6	5	6	6	10	6,5
			6	11	15	10	11	8	11	8	11	10	10,1
		Y	5	5	3	6	5	4	4	4	5	4	4,5
			10	13	18	13	13	14	10	10	10	13	12,4
	Yatay Mesafe	D	Yatay mesafe için risk değerleri; köprü ayakları arası mesafe, seyredilebilir kanal genişliği ve geçiş yapan en büyük gemi göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.										
		O											
		Y											
	Sapma Derecesi	D	Sapma derecesi için risk değerleri; yatay ve dikey mesafe için belirlenen risk değerlerinin kesişimleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır.										
		O											
		Y											
	Risk Faktörü	Risk Derecesi	Uzman1	Uzman2	Uzman3	Uzman4	Uzman5	Uzman6	Uzman7	Uzman8	Uzman9	Uzman10	SONUÇ
DOĞAL ÇEVRE FAKTÖRLERİ	Rüzgar Hızı	D	3	3	4	2	4	4	4	3	3	3	3,3
		O	5	6	7	5	5	7	6	5	5	5	5,6
		Y	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Deniz Durumu	D	3	2	4	2	2	4	3	3	4	3	3
		O	4	5	6	5	4	6	6	5	6	6	5,3
		Y	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Görüş Uzaklığı	D	4	6	6	6	3	3	3	5	3	5	4,4
		O	3	4	5	4	2	2	2	4	2	4	3,2
		Y	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1,5
	Gece/ Gündüz Geçiş Durumu	Tüm senaryolar gece ve gündüz olarak ayrı ayrı değerlendirilerek kurallar oluşturulmuştur.											

5.4.2.1 Dinamik faktörler

Dinamik faktörler gemi-köprü kazalarının oluşmasında doğrudan pay sahibidir. Uzman görüşleri alınarak oluşturulan dinamik faktörlerin bulanıklaştırılması tablosu **Çizelge-5.2'**de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Dinamik faktörlerin bulanıklaştırılması.

Kritik Kondisyon / Risk		Düşük	Orta	Yüksek
R_p		$(-R_b, -R_a, R_a, R_b)$	(R_a, R_b, R_c) $(-R_c, -R_b, -R_a)$	$(R_b, R_c, \frac{L_{bridge}}{2}, \frac{L_{bridge}}{2})$ $(-\frac{L_{bridge}}{2}, -\frac{L_{bridge}}{2}, -R_c, -R_b)$
L_{ow}		$(L_{0B}, L_{0C}, \infty, \infty)$	(L_{0A}, L_{0B}, L_{0C})	$(0, 0, L_{0A}, L_{0B})$
θ_{sapma}	R_a	$(-\theta_{-B}^{\pm a}, -\theta_{-C}^{\pm a}, \theta_{+C}^{\pm a}, \theta_{+B}^{\pm a})$	$(\theta_{+C}^{\pm a}, \theta_{+B}^{\pm a}, \theta_{+A}^{\pm a})$ $(-\theta_{-A}^{\pm a}, -\theta_{-B}^{\pm a}, -\theta_{-C}^{\pm a})$	$(\theta_{+B}^{\pm a}, \theta_{+A}^{\pm a}, \pi, \pi)$ $(-\pi, -\pi, \theta_{-A}^{\pm a}, \theta_{-B}^{\pm a})$
	R_b	$(-\theta_{-B}^{\pm b}, -\theta_{-C}^{\pm b}, \theta_{+C}^{\pm b}, \theta_{+B}^{\pm b})$	$(\theta_{+C}^{\pm b}, \theta_{+B}^{\pm b}, \theta_{+A}^{\pm b})$ $(-\theta_{-A}^{\pm b}, -\theta_{-B}^{\pm b}, -\theta_{-C}^{\pm b})$	$(\theta_{+B}^{\pm b}, \theta_{+A}^{\pm b}, \pi, \pi)$ $(-\pi, -\pi, \theta_{-A}^{\pm b}, \theta_{-B}^{\pm b})$
	R_c	$(-\theta_{-B}^{\pm c}, -\theta_{-C}^{\pm c}, \theta_{+C}^{\pm c}, \theta_{+B}^{\pm c})$	$(\theta_{+C}^{\pm c}, \theta_{+B}^{\pm c}, \theta_{+A}^{\pm c})$ $(-\theta_{-A}^{\pm c}, -\theta_{-B}^{\pm c}, -\theta_{-C}^{\pm c})$	$(\theta_{+B}^{\pm c}, \theta_{+A}^{\pm c}, \pi, \pi)$ $(-\pi, -\pi, \theta_{-A}^{\pm c}, \theta_{-B}^{\pm c})$

Gemi-köprü arası yatay uzaklık (R_p)

Gemi-köprü arasında X düzlemi üzerindeki (Şekil 5.8) mesafenin artması, gemiyi köprü ayaklarına yaklaştıracığından dolayı çarpışma riskini de artıracaktır. Diğer bir ifadeyle, gemi, köprünün orta noktasına ne kadar yakın geçerse, bu geçişi o kadar emniyetli olacaktır.

Bu çalışmada, geminin köprü ile arasındaki yatay uzaklıklar düşük, orta ve yüksek olarak üç risk bölgesine ayrılmıştır. Bu bölgelerin sınırları belirlenirken Wu ve diğerleri (2019) çalışmasında da olduğu gibi köprü ayakları arasındaki mesafe, seyredilebilir kanal genişliği ve kanaldan geçen maksimum gemi boyutları göz önünde bulundurulmuştur.

Çanakkale Boğazı'ndan bugüne dek geçmiş olan en büyük gemi 477m boyunda (L_{max}), 124m genişliğindeki (W_{max}) "PIONEERING SPIRIT" gemisidir. Seyredilebilir kanal genişliğinin sınırları orta riskli bölge ve köprü ayakları yüksek riskli bölge sınırları olarak kabul edilmiştir. Köprü bölgesinde seyredilebilir kanal genişliği 1600m, köprü ayakları arasındaki mesafe 2023m'dir. Hesaplamalar köprü orta noktasından iskele ve sancağa doğru uzaklaşmaları içerdiği için bu mesafelerin yarısı hesaba katılmıştır. Bu durumda orta risk bölgesinin sınırları W_{max} değerinin $1600/124=12,9$ katı, yüksek risk bölgesinin sınırları W_{max} değerinin $2023/124=16,3$ katı olarak ortaya çıkmaktadır.

Düşük risk bölgesi için diğer risk bölgelerine orantılı olarak 8,5 katsayısı kabul edilmiştir.

Önerilen risk değerlendirme modeli her gemi için özel bir hesaplama yapacağı için, geçiş yapacak olan geminin eninin (W_{gemi}) maksimum gemi boyutlarına oranlanması gerekmektedir. Bunun için $\alpha = \frac{L_{max}}{L_{gemi}}$ katsayısı da hesaba katılmıştır.

Sonuç olarak; düşük (R_a), orta (R_b) ve yüksek (R_c) risk bölgelerinin sınırlarını belirleyen denklemler şu şekilde ortaya çıkmaktadır:

$$R_a = 0,5 \times 8,5 \times \alpha \times W_{gemi} \quad (5.7)$$

$$R_b = 0,5 \times 12,9 \times \alpha \times W_{gemi} \quad (5.8)$$

$$R_c = 0,5 \times 16,3 \times \alpha \times W_{gemi} \quad (5.9)$$

Gemi-köprü arası dikey uzaklık (L_w)

Gemi-köprü arası Y düzlemi üzerindeki dikey uzaklığın azalması, çarpışma riskinin artmasına sebep olacaktır. Şüphesiz, gemi, köprüden geçebilmek için köprüye yaklaşmak durumundadır. Ancak, burada üzerinde durulan konu; geminin köprüye yaklaştıkça rotasını ve hızını ayarlayabilmek için daha kısıtlı bir manevra alanına ve zamanına sahip olması durumudur. Dolayısıyla, köprüye çok yakın olan bir gemi, diğer risk faktörleri sebebiyle herhangi bir olumsuz durumla karşı karşıya kaldığında, karşı önlemleri almak için yeterli zamana ve manevra alanına sahip olamayacaktır.

Şekil 5.8 üzerinde görüldüğü üzere, geminin köprüye olan dikey uzaklığı A, B, C noktaları ile işaretlenmiştir. Bu mesafeler, her geminin manevra kabiliyetine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Uzman ekibine düşük, orta ve yüksek risk içermesine göre, geçiş yapacak gemi boyu cinsinden bir bağıntı kurmaları istenmiş ve verilen cevapların ortalamaları alınmıştır. Buna göre, L_{0A} , L_{0B} , L_{0C} mesafeleri;

L_{0A} = Gemi boyunun 6 katı,

L_{0B} = Gemi boyunun 8 katı,

L_{0C} = Risk değerlendirmesinin başlayacağı mesafe olan 6500m olarak belirlenmiştir.

Geminin sapma derecesi (θ_{sapma})

θ_{sapma} ; köprüden emniyetli geçiş için takip edilmesi gereken rotadan sapma derecesini ifade etmektedir. Şekil 5.8’de görüleceği üzere, sapma derecesi ne kadar fazla olursa, geminin köprü ayağına çarpma olasılığı da orantılı olarak artacaktır.

($\pm p$, $-w$) konumundaki bir geminin iskele taraftaki köprü ayağına çarpması için gereken θ_{sapma} değeri $\theta_{-w}^{\pm p}$, sancak taraftaki köprü ayağına çarpması için gereken θ_{sapma} değeri $\theta_{+w}^{\pm p}$ olarak ifade edilmiştir. Aralıklar belirlenirken kullanılacak olan sınır değerler aşağıdaki gibi formülize edilmiştir:

$$\theta_{-w}^{\pm p} = \arctan \frac{\frac{Lk_{öprü}}{2} + (-Rp)}{Wk_{öprü} + L0w} \quad (5.10)$$

$$\theta_{+w}^{\pm p} = \arctan \frac{\frac{Lk_{öprü}}{2} + Rp}{Wk_{öprü} + L0w} \quad (5.11)$$

Geminin hızı (V_{gemi})

Geminin hızı, çarpışma riskini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Boğaz içerisinde trafiğin akabilmesi için gemilerin hızının çok düşük olmaması gerekmektedir. Bu sebeple, Çanakkale Boğazı da dahil olmak üzere birçok dar su yollarında gemilerin belirlenen bir minimum süratin üzerindeki hızlarda seyretmesi beklenir. Gemilerin çok düşük hızlarda seyretmeleri, manevra kabiliyetlerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple çok düşük hızla seyir yapmak, çarpışma riskini artırmaktadır. Benzer şekilde, çok yüksek süratle seyir yapmak da özellikle köprüye yakın bölgelerde manevra yapma süresi için çok dar bir zaman bırakacağından, etkili ve emniyetli manevra yapabilme kabiliyetini olumsuz etkileyerek çarpışma riskini artırmaktadır. Bu sebeple, köprü yaklaşımlarında gemilere hız sınırlaması uygulanabilmektedir. Gemilerin köprü geçişlerindeki hızlarının risk grupları, köprü içerisindeki doğal akıntı yönünde ya da bu yönün tersine doğru seyir yapma durumlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Gemi hızı için risk grupları, Çizelge 5.1’de belirtilen uzman görüşleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

5.4.2.2 Doğal çevre faktörlerinin bulanıklaştırılması

Doğal çevre faktörleri, gemi-köprü kazalarında büyük rol oynamaktadır. Olumsuz çevresel faktörler, geminin manevra kabiliyetini azaltarak kaza riskini artırmaktadır. Uzman görüşleri alınarak oluşturulan doğal çevre faktörlerinin bulanıklaştırılması tablosu **Çizelge-5.3**'de verilmiştir.

Çizelge 5.3: Doğal çevre faktörlerinin bulanıklaştırılması.

<i>Doğal Çevre Faktörleri / Risk</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>
<i>Deniz Durumu (Douglas Deniz Ölçeği)</i>	<i>Sakin (0, 0, 3, 4.15)</i>	<i>Dalgalı (3, 4.15, 5.3)</i>	<i>Sert (4.15, 5.3, 9, 9)</i>
<i>Rüzgâr Hızı (Beaufort Ölçeği)</i>	<i>Sakin (0, 0, 3.3, 4.45)</i>	<i>Rüzgârlı (3.3, 4.45, 5.6)</i>	<i>Sert (4.45, 5.6, 9, 9)</i>
<i>Görüş Mesafesi (nm)</i>	<i>İyi (3.2, 4.4, 6, 6)</i>	<i>Orta (1.5, 3.2, 4.4)</i>	<i>Düşük (0, 0, 1.5, 3.2)</i>

Deniz durumu

Deniz durumu, Douglas Deniz Ölçeği kullanılarak (0-9) aralığında sayısal değerler verilerek üç sözel değer ile uzman görüşlerine göre bulanıklaştırılmıştır. Bu sözel değerler sakin, dalgalı, sert olarak belirlenmiştir. Sakin ve sert sözel değerleri için yamuk üyelik fonksiyonu, dalgalı sözel değeri için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Modelin kullanımını basitleştirmek için, rüzgâr yönü ve akıntı yönü gemiyi en olumsuz etkileyecek şekilde kabul edilmiş, farklı yönlerden gelen akıntı ve rüzgâr ayrıca ele alınmamıştır.

Rüzgâr hızı

rüzgâr hızı, Beaufort Ölçeği kullanılarak (0-9) aralığında sayısal değerler verilerek ve buna karşılık sakin, rüzgârlı, sert olarak üç sözel değer kullanılarak uzman görüşlerine göre bulanıklaştırılmıştır. Sakin ve sert sözel değerleri için yamuk üyelik fonksiyonu, rüzgârlı sözel değeri için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Görüş mesafesi

Görüş mesafesi, özellikle dar su yollarında seyreden gemiler için kaza riskini büyük ölçüde artırmaktadır. Bazı dar su yolları, görüş mesafesi yetkili otoriteler tarafından belirlenen seviyenin altına düştüğünde trafiğe kapatılabilmektedir. Bu çalışmada;

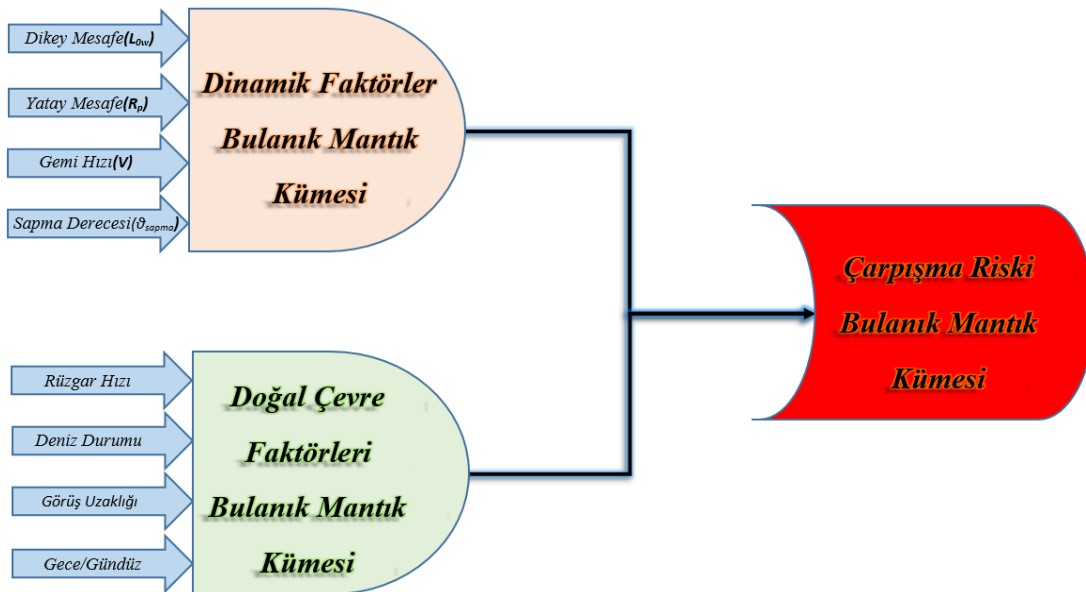
görüş mesafesi risk değerleri için uzman görüşleri kullanılmıştır. Görüş mesafesi, belirlenen sayısal değerlere göre; düşük, orta, iyi olmak üzere üç sözel değer kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. düşük ve iyi sözel değerleri için yamuk üyelik fonksiyonu, orta sözel değeri için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Gece/gündüz geçiş durumu

Gemilerin köprü geçişlerini gece gerçekleştirmeleri, gündüz gerçekleştirmelerine göre daha riskli kabul edilmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada gemilerin köprü geçişlerini gündüz ya da gece gerçekleştirmelerine göre bütün senaryolar ayrı ayrı değerlendirilerek risk grupları belirlenmiştir.

5.4.3 Bulanık kural tabanının oluşturulması

Gemi-köprü çarpışma durumunu etkileyen risk faktörlerinin bulanıklaştırılmasının ardından, sıradaki adım, çarpışma riski değerlendirmesinin yapılabilmesi için bağlı kalınacak kuralların oluşturulmasıdır. Risk faktörlerinin her biri birer girdi değeridir. Bir bulanık mantık kümesinde çok fazla girdi olması, olasılık sayısını artıracığından dolayı kural tabanının oluşturulması sürecini karmaşıktıratacaktır. Bu sebeple bütün girdilerin bulunduğu tek bir bulanık mantık kümesi tercih edilmemiştir. Bunun yerine, üç farklı bulanık mantık kümesi oluşturulmuştur. Bu kümeler; dinamik faktörler, doğal çevre faktörleri ve çarpışma riski bulanık mantık kümeleridir. Bulanık mantık kümelerinin oluşturduğu diyagram Şekil-5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Bulanık kümeler diyagramı.

Dikey mesafe, yatay mesafe, gemi hızı ve sapma derecesi girdileri dinamik faktörler bulanık mantık kümesini oluşturmaktadır. Diğer yandan, rüzgâr hızı, deniz durumu, görüş uzaklığı, gece/gündüz geçiş durumu faktörleri doğal çevre faktörleri bulanık mantık kümesinin girdileridir. Dinamik faktörler ve doğal çevre faktörleri bulanık mantık kümelerinden elde edilen çıktı değerleri, çarpışma riski bulanık mantık kümesinin girdi değerlerini oluşturur ve buradan çarpışma riski çıktısı elde edilir.

Çizelge 5.2’de gösterilen risk faktörlerinin bulanıklaştırılması ile elde edilen sözel değerlerin (düşük, orta, yüksek) birbirleriyle etkileşimleri sonucunda dinamik faktörler bulanık mantık kümesinin çıktı değeri elde edilmektedir. Bu etkileşimler, bulanık kural tabanı çerçevesinde gerçekleşmektedir. Bulanık kural tabanı, uzman görüşlerinin ortalamaları alınarak, geleneksel *EĞER-İSE* prensibi ile oluşturulmuştur. Dinamik faktörler bulanık mantık kümesi için oluşturulan bulanık kural tabanı **Çizelge 5.4**’te gösterilmiştir. Örneğin; köprüden geçiş yapacak olan bir geminin köprü merkezinden yatay uzaklığı düşük risk grubunda, gemi hızı düşük risk grubunda, geminin köprüye dikey uzaklığı yüksek risk grubunda ve geminin sapma derecesi yüksek risk grubundaysa; Çizelge 5.4’te gösterilen kurallar arasından 25 numaralı kural çalışacak ve gemi durumu açısından risk orta derecede olacaktır. Girdi değerleri, bulanık mantık prensibine uygun olarak farklı oranlarda birden fazla gruba dahil olabilir. Örneğin; douglas deniz ölçeğine göre deniz durumu 4 olarak belirlenmişse, sözel değer karşılığı olarak deniz durumu dalgalı ile sakin arasında bir değere karşılık gelecektir. Dolayısıyla, risk grubu da orta ile düşük arasında olacaktır. Sonuçta; bulanık mantık kümesi içerisine yazılan bir senaryoda, birden fazla kural çalışarak sonuç değerini elde etmektedir.

Çizelge 5.4: Dinamik faktörler EĞER-İSE kuralları.

Kural	Hız	Sapma Derecesi	Dikey Uzaklık	Yatay Uzaklık	Sonuç	Kural	Hız	Sapma Derecesi	Dikey Uzaklık	Yatay Uzaklık	Sonuç	Kural	Hız	Sapma Derecesi	Dikey Uzaklık	Yatay Uzaklık	Sonuç
1	D	D	D	D	ÇD	28	O	D	D	D	D	55	Y	D	D	D	D
2	D	D	D	O	D	29	O	D	D	O	D	56	Y	D	D	O	O
3	D	D	D	Y	O	30	O	D	D	Y	O	57	Y	D	D	Y	O
4	D	D	O	D	D	31	O	D	O	D	D	58	Y	D	O	D	O
5	D	D	O	O	O	32	O	D	O	O	O	59	Y	D	O	O	O
6	D	D	O	Y	O	33	O	D	O	Y	O	60	Y	D	O	Y	Y
7	D	D	Y	D	O	34	O	D	Y	D	O	61	Y	D	Y	D	O
8	D	D	Y	O	O	35	O	D	Y	O	O	62	Y	D	Y	O	Y
9	D	D	Y	Y	Y	36	O	D	Y	Y	Y	63	Y	D	Y	Y	ÇY
10	D	O	D	D	D	37	O	O	D	D	D	64	Y	O	D	D	O
11	D	O	D	O	O	38	O	O	D	O	O	65	Y	O	D	O	O
12	D	O	D	Y	Y	39	O	O	D	Y	Y	66	Y	O	D	Y	Y
13	D	O	O	D	O	40	O	O	O	D	O	67	Y	O	O	D	O
14	D	O	O	O	O	41	O	O	O	O	O	68	Y	O	O	O	O
15	D	O	O	Y	Y	42	O	O	O	Y	Y	69	Y	O	O	Y	Y
16	D	O	Y	D	O	43	O	O	Y	D	O	70	Y	O	Y	D	Y
17	D	O	Y	O	Y	44	O	O	Y	O	O	71	Y	O	Y	O	Y
18	D	O	Y	Y	Y	45	O	O	Y	Y	Y	72	Y	O	Y	Y	ÇY
19	D	Y	D	D	O	46	O	Y	D	D	O	73	Y	Y	D	D	O
20	D	Y	D	O	O	47	O	Y	D	O	O	74	Y	Y	D	O	Y
21	D	Y	D	Y	Y	48	O	Y	D	Y	Y	75	Y	Y	D	Y	ÇY
22	D	Y	O	D	O	49	O	Y	O	D	O	76	Y	Y	O	D	Y
23	D	Y	O	O	Y	50	O	Y	O	O	Y	77	Y	Y	O	O	Y
24	D	Y	O	Y	Y	51	O	Y	O	Y	Y	78	Y	Y	O	Y	ÇY
25	D	Y	Y	D	O	52	O	Y	Y	D	Y	79	Y	Y	Y	D	ÇY
26	D	Y	Y	O	Y	53	O	Y	Y	O	Y	80	Y	Y	Y	O	ÇY
27	D	Y	Y	Y	ÇY	54	O	Y	Y	Y	ÇY	81	Y	Y	Y	Y	ÇY

Diğer taraftan, Çizelge 5.3'te gösterilen doğal çevre risk faktörlerinin birbirleriyle etkileşimlerinin çerçevesini oluşturan bulanık kural tabanları, yine uzman görüşleri dikkate alınarak geleneksel IF-THEN prensibi ile hazırlanmıştır. Oluşturulan kural tabanı **Çizelge 5.5**'te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Doğal çevre faktörleri EĞER-İSE kuralları.

Kural	Gece/ Gündüz	Rüzgar Hızı	Deniz Durumu	Görüş Mesafesi	Sonuç	Kural	Gece/ Gündüz	Rüzgar Hızı	Deniz Durumu	Görüş Mesafesi	Sonuç
1	Gündüz	D	D	D	ÇD	28	Gece	D	D	D	D
2	Gündüz	D	D	O	D	29	Gece	D	D	O	O
3	Gündüz	D	D	Y	O	30	Gece	D	D	Y	Y
4	Gündüz	D	O	D	D	31	Gece	D	O	D	D
5	Gündüz	D	O	O	D	32	Gece	D	O	O	O
6	Gündüz	D	O	Y	Y	33	Gece	D	O	Y	Y
7	Gündüz	D	Y	D	O	34	Gece	D	Y	D	O
8	Gündüz	D	Y	O	O	35	Gece	D	Y	O	Y
9	Gündüz	D	Y	Y	ÇY	36	Gece	O	Y	Y	ÇY
10	Gündüz	O	D	D	D	37	Gece	O	D	D	O
11	Gündüz	O	D	O	O	38	Gece	O	D	O	O
12	Gündüz	O	D	Y	Y	39	Gece	O	D	Y	Y
13	Gündüz	O	O	D	O	40	Gece	O	O	D	O
14	Gündüz	O	O	O	O	41	Gece	O	O	O	O
15	Gündüz	O	O	Y	Y	42	Gece	O	O	Y	Y
16	Gündüz	O	Y	D	O	43	Gece	O	Y	D	O
17	Gündüz	O	Y	O	Y	44	Gece	O	Y	O	Y
18	Gündüz	O	Y	Y	ÇY	45	Gece	O	Y	Y	ÇY
19	Gündüz	Y	D	D	O	46	Gece	Y	D	D	O
20	Gündüz	Y	D	O	O	47	Gece	Y	D	O	O
21	Gündüz	Y	D	Y	Y	48	Gece	Y	D	Y	ÇY
22	Gündüz	Y	O	D	O	49	Gece	Y	O	D	O
23	Gündüz	Y	O	O	O	50	Gece	Y	O	O	Y
24	Gündüz	Y	O	Y	Y	51	Gece	Y	O	Y	ÇY
25	Gündüz	Y	Y	D	Y	52	Gece	Y	Y	D	Y
26	Gündüz	Y	Y	O	Y	53	Gece	Y	Y	O	Y
27	Gündüz	Y	Y	Y	ÇY	54	Gece	Y	Y	Y	ÇY

Dinamik faktörler ve doğal çevre faktörleri bulanık mantık kümelerinin birbirlerine göre durumlarının sonucunu belirleyen son küme çarpışma riski kümesidir. Çarpışma riski bulanık kümesinin kural tabanı **Çizelge 5.6**'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Çarpışma riski EĞER-İSE kuralları.

Kural	Gemi Kritik Kondisyonu	Doğal Çevre Faktörleri	Sonuç
1	D	D	ÇD
2	D	O	D
3	D	Y	O
4	O	D	O
5	O	O	O
6	O	Y	Y
7	Y	D	Y
8	Y	O	Y
9	Y	Y	ÇY

5.4.4 Gemi-köprü çarpışma riskinin elde edilmesi

Şuana kadar gemi-köprü çarpışma riskini etkileyen faktörler belirlendi, risk faktörleri bulanıklaştırıldı ve kural tabanı oluşturuldu. Sıradaki adım, girdiler ile çıktılar arasındaki köprüyü kuracak olan bulanık sonuçlandırma motoru (FIS)'nin oluşturulmasıdır. Bu çalışmada kullanılan bulanık mantık tabanlı model, MATLAB-R2020b uygulaması üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bulanık çıkarım motoru olarak en yaygın kullanılan çeşitlerinden biri olan Mamdani-type tercih edilmiştir.

FIS ayarları **Çizelge 5.7**'de verildiği gibidir.

Çizelge 5.7: Bulanık sonuçlandırma motoru ayarları.

And method	<i>Min</i>
Or method	<i>Max</i>
Implication	<i>Min</i>
Aggregation	<i>Max</i>
Defuzzification	<i>Centroid</i>

5.5 Bulanık Mantık Tabanlı Gemi-Köprü Çarpışma Erken Uyarı Sistemi Modeli için Örnek Uygulama Çalışması: 1915 Çanakkale Köprüsü

5.5.1 Senaryo

14 Mayıs 2021 günü, saat 12:00 (GMT+3) saatinde Çanakkale Boğazı'na kuzeyden giriş yapan LPG gemisi 1915 Çanakkale Köprüsü'nden geçiş yapacaktır. Gemi tam boyu 227m, eni 36m'dir. Geçiş yapılacağı sırada alınan anlık verilere göre rüzgâr durumu bofor skalasına göre 6, deniz durumu douglas ölçeğine göre 5, görüş mesafesi 3NM olarak ölçülmüştür. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün boğaz içerisinde yer alan ayakları arasındaki mesafe 2023m, köprü tabyasının genişliği 45,06m'dir. Gemi için, köprüye 6500m kala Çanakkale GTH altyapısı ile elde edilen anlık dinamik faktör verileri ile köprü ayaklarına çarpma riski hesaplanmaya başlamıştır. Gemi ve köprü bilgileri, meteorolojik durum ve köprüye 5000m mesafeden köprü geçişine kadar 8 noktada alınan geminin anlık dinamik verileri **Şekil 5.10**'da verilmiştir.

VERİLER						
L_{max}	477	L_{gemi}	227	$L_{köprü}$	2023	
W_{max}	124	W_{gemi}	36	$W_{köprü}$	45,06	

DİNAMİK DURUM						
#	L_{ow} (m)	R_p (m)	V_{gemi} (knot)	θ_{rota} (°)	θ_{normal} (°)	θ_{sapma} (°)
1	5000	180	15	242°	235°	+7°
2	4250	275	13	245°	235	+10°
3	3700	550	12	248°	215°	+33°
4	3100	820	12	241°	215°	+26°
5	2500	600	10,9	230°	215°	+15°
6	1800	500	10,2	215°	215°	0°
7	1200	220	10,2	205°	215°	-10°
8	600	50	10,1	214°	215°	-1°

METEOROLOJİK DURUM	
Deniz Durumu (Douglas Deniz Ölçeği)	5
Rüzgar Durumu (Bofor Skalası)	6
Görüş Uzaklığı (NM)	3
GEÇİŞ PERİYODU	GÜNDÜZ

Şekil 5.10: Geminin geçiş senaryosu.

5.5.2 Gemi dinamik verilerinin bulanıklaştırılması

Risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için ilk olarak girdilerin bulanıklaştırılması gerekmektedir.

Dikey uzaklık (Lo_w) için düşük, orta ve yüksek risk bölgeleri olarak ifade edilen mesafelerin sınırları Çizelge 5.1’de sonuçları gösterilen uzman verilerine göre; düşük risk için ölçümlerin başladığı 6500m, orta risk için gemi boyunun yaklaşık 8 katı ve yüksek risk için gemi boyunun 6 katı olarak belirlenmiştir. Buna göre;

$$Lo_A = 6 \times 227,$$

$$Lo_A = 1362 \text{ m},$$

$$Lo_B = 8 \times 227,$$

$$Lo_B = 1816 \text{ m},$$

$$Lo_C = 6500 \text{ m'dir.}$$

Yatay uzaklık (R_p) için düşük, orta ve yüksek risk bölgeleri olarak ifade edilen mesafelerin sınırları denklem 5.7, denklem 5.8 ve denklem 5.9’da gösterildiği üzere R_a , R_b , R_c olarak belirtilmiştir.

Buna göre α değeri;

$$\alpha = L_{max} / L_{gemi},$$

$$\alpha = 2,1 \text{ olarak elde edilir.}$$

Düşük risk bölgesinin sınırlarını belirleyen R_a değeri;

$$R_a = 0,5 \times 8,5 \times 36 \times 2,1$$

$$R_a = 321,5 \text{ m},$$

orta risk bölgesinin sınırlarını belirleyen R_b değeri;

$$R_b = 0,5 \times 12,9 \times 36 \times 2,1$$

$$R_b = 487,9 \text{ m}$$

ve yüksek risk bölgesinin sınırlarını belirleyen R_c değeri;

$$R_c = 0,5 \times 16,3 \times 36 \times 2,1$$

$$R_c = 616,5 \text{ m olarak bulunur.}$$

Gemi hızı (V_{gemi}) için risk sınırları 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde uzmanlardan elde edilen tavsiyelerin ortalaması alınarak Çizelge 5.1’de gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Buna göre köprü geçişi için belirlenen optimum geçiş hızı 10 knot’tır.

Geminin bulunduğu konuma göre köprü ayaklarına çarpmasına sebep olacak kritik sapma açıları (θ_{sapma}) değişiklik gösterecektir. Bu sebeple θ_{sapma} değerleri kritik yatay ve dikey mesafe sınırlarının kesişimleri referans alınarak denklem 5.10 ve denklem 5.11’de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

Buna göre, (LO_A , R_a) konumunda bulunan geminin sancak tarafında bulunan köprü ayağına çarpmasına sebep olacak sapma açısı;

$$\theta_{+A}^{\pm a} = \arctan \frac{\frac{2023}{2} + 321,5}{45,06 + 1362} = 43,45^\circ$$

olarak hesaplanır.

Aynı konumdaki geminin iskele tarafında bulunan köprü ayağına çarpmasına sebep olacak sapma açısı;

$$\theta_{-A}^{\pm a} = \arctan \frac{\frac{2023}{2} - 321,5}{45,06 + 1362} = 26,12^\circ$$

olarak hesaplanır.

Benzer şekilde;

$$\theta_{+B}^{\pm a} = 35,61^\circ,$$

$$\theta_{-B}^{\pm a} = 20,34^\circ,$$

$$\theta_{+C}^{\pm a} = 14,8^\circ,$$

$$\theta_{-C}^{\pm a} = 7,78^\circ,$$

$$\theta_{+A}^{\pm b} = 46,82^\circ,$$

$$\theta_{-A}^{\pm b} = 20,41^\circ,$$

$$\theta_{+B}^{\pm b} = 38,86^\circ,$$

$$\theta_{-B}^{\pm b} = 15,71^\circ,$$

$$\theta_{+C}^{\pm b} = 16,55^\circ,$$

$$\theta_{-C}^{\pm b} = 5,92^\circ,$$

$$\theta_{+A}^{\pm c} = 49,16^\circ,$$

$$\theta_{-A}^{\pm c} = 15,68^\circ,$$

$$\theta_{+B}^{\pm c} = 41,18^\circ,$$

$$\theta_{-B}^{\pm c} = 11,98^\circ,$$

$$\theta_{+C}^{\pm c} = 17,88^\circ,$$

$$\theta_{-C}^{\pm c} = 4,48^\circ \text{ olarak elde edilir.}$$

Kuzeyden güneye doğru seyreden bir geminin köprüden emniyetli geçişi için kanal orta hattında izlemesi gereken rota açısı (θ_{normal}) #1 ve #2 noktalarında 235°, diğer noktalarda 215°'dir.

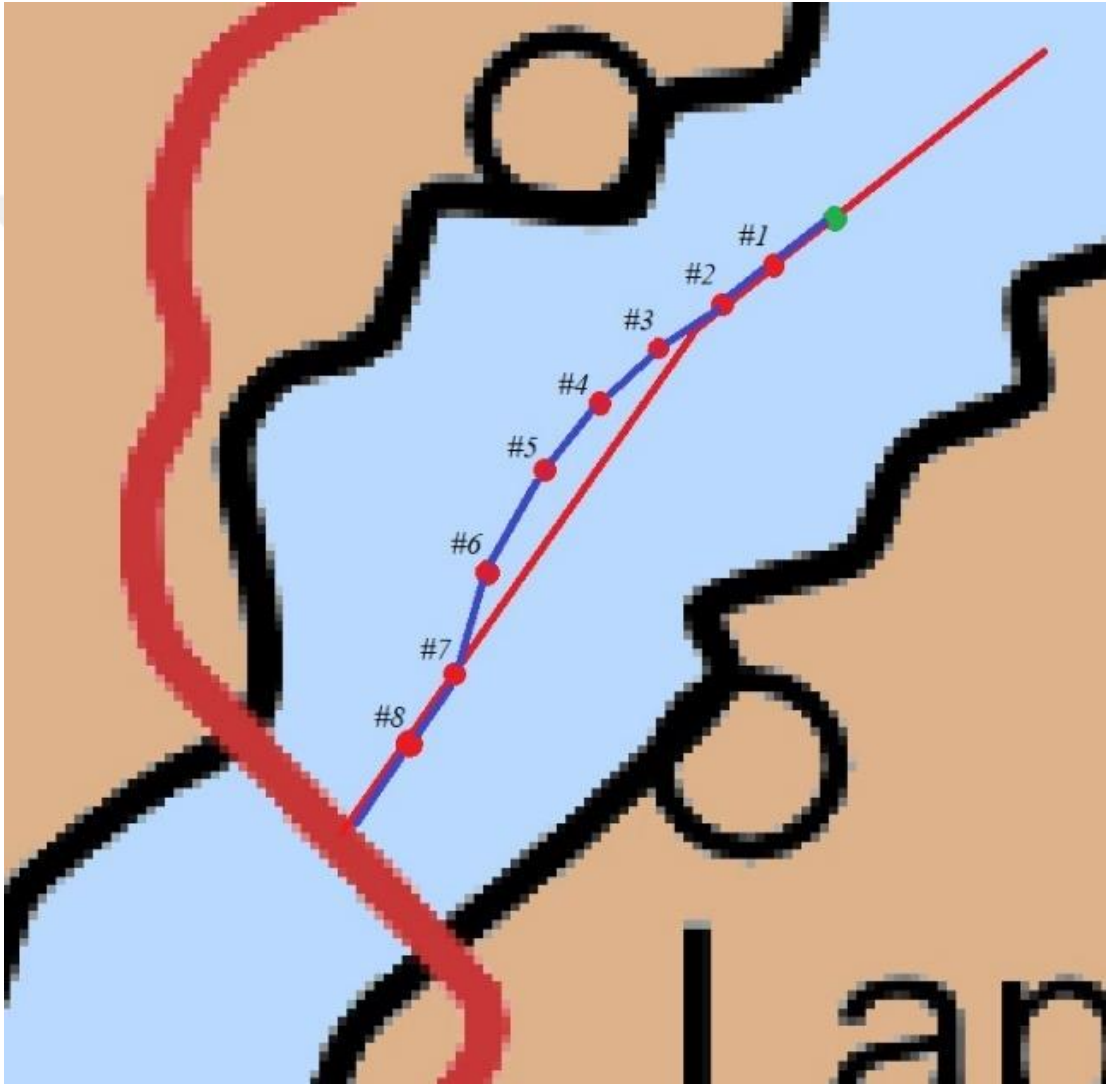
Elde edilen anlık verilerin daha önce Çizelge 5.2'de gösterilen şablona geçirilmesi sonucu oluşan tablo **Çizelge 5.8**'de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Anlık bulanık girdiler.

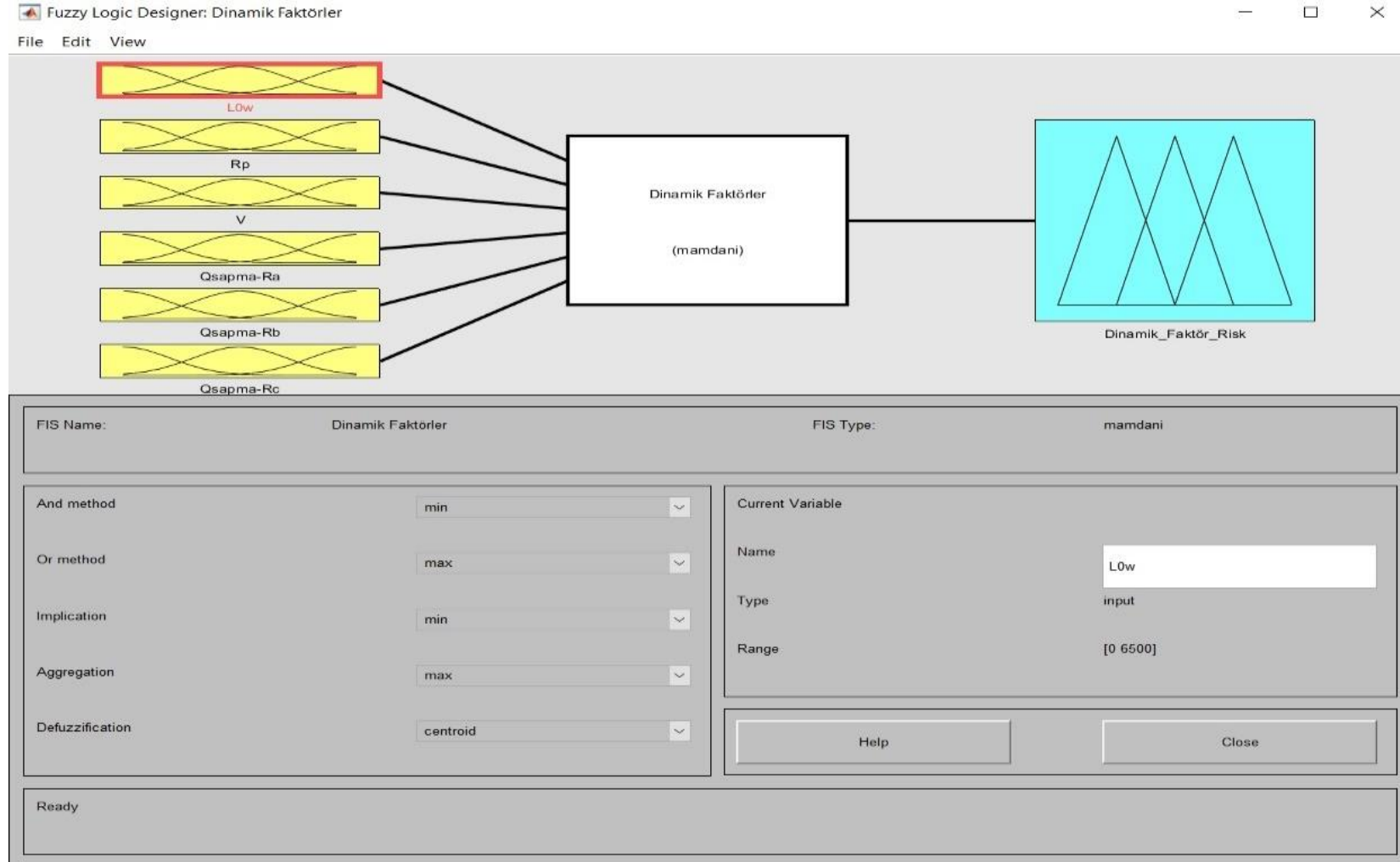
Kritik Kondisyon / Risk		Düşük	Orta	Yüksek
R_p (m)		(0, 0, 321.5, 487.9)	(321.5, 487.9, 616.5)	(487.9, 616.5, 1011.5, 1011.5)
L_{0w} (m)		(1816, 5000, 6500, 6500)	(1362, 1816, 5000)	(0, 0, 1362, 1816)
V_{gemi}		(6.5, 9.9, 12.4)	(4.5, 6.5, 10.1) (10.1, 12.4, 14.7)	(0, 0, 4.5, 6.5) (12.4, 14.7, 20, 20)
θ_{sapma} (°)	R_a	(-20.34, -7.79, 14.8, 35.61)	(14.8, 35.61, 43.45) (-26.12, -20.34, -7.70)	(35.61, 43.45, 50, 50) (-50, -50, -26.12, -20.34)
	R_b	(-15.71, -5.92, 16.56, 38.86)	(16.55, 38.86, 46.82) (-20.41, -15.71, -5.92)	(38.86, 46.82, 50, 50) (-50, -50, -20.41, -15.71)
	R_c	(-11.98, -4.48, 17.88, 41.18)	(17.88, 41.18, 49.16) (-15.68, -11.98, -4.48)	(41.18, 49.16, 50, 50) (-50, -50, -15.68, -11.98)

5.5.3 Gemi-köprü çarpışma risk değerlendirme sonuçları

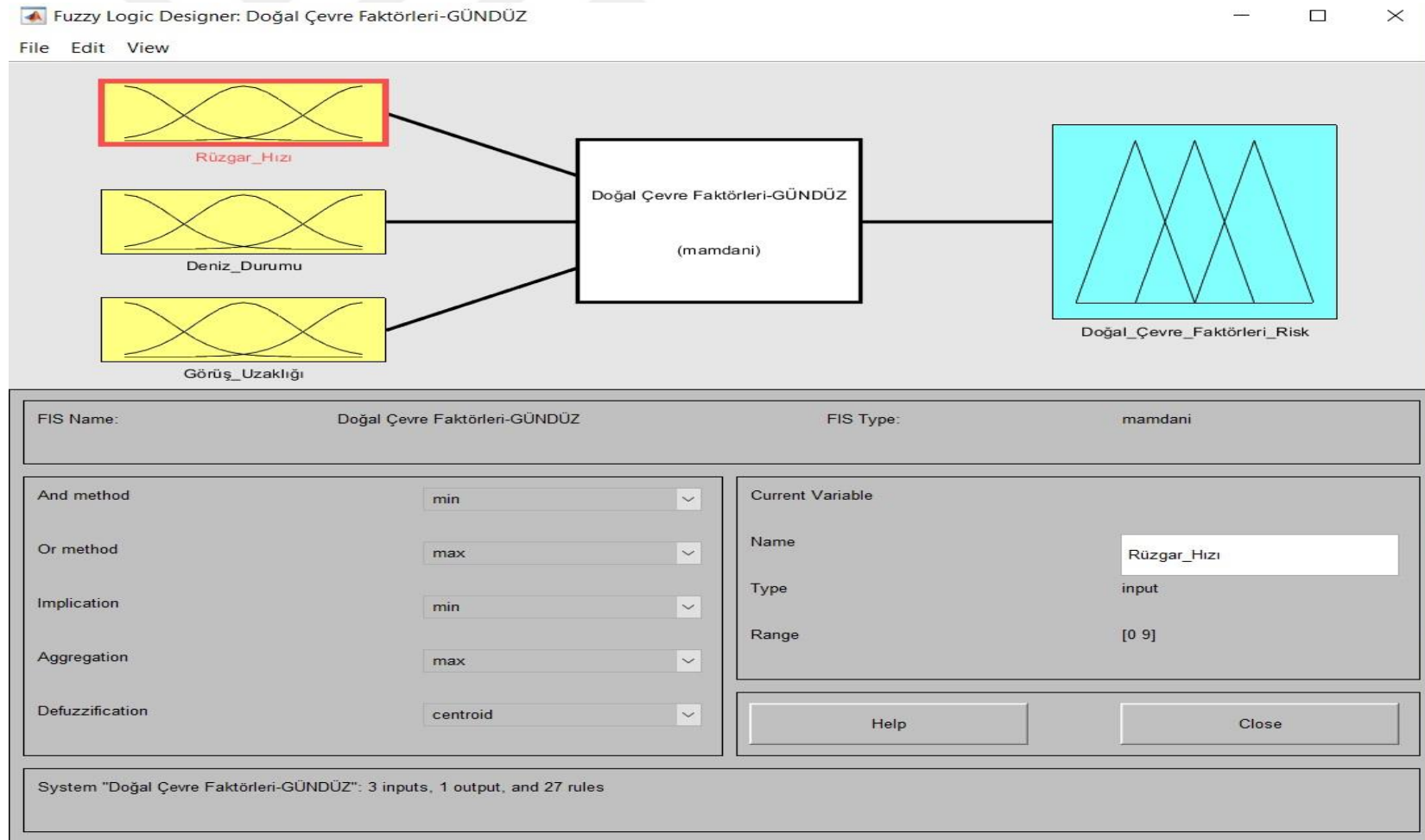
Girdilerin bulanıklaştırılmasının ardından, sekiz durumdan (Şekil 5.11) her biri için bulanık sonuçlandırma motoru çalışarak risk değerlendirme sonuçları elde edilmiştir. Dinamik faktörler (Şekil 5.12) ve doğal çevre faktörleri (Şekil 5.13) için oluşturulan bulanık kümelerden elde edilen sonuçlar çarpışma riski bulanık kümesinde (Şekil 5.14) son değerlendirmeye sokularak nihai çarpışma riski elde edilmiştir. Bütün işlemler oluşturulan kural tabanları (Şekil 5.15) çerçevesinde gerçekleşmiştir.



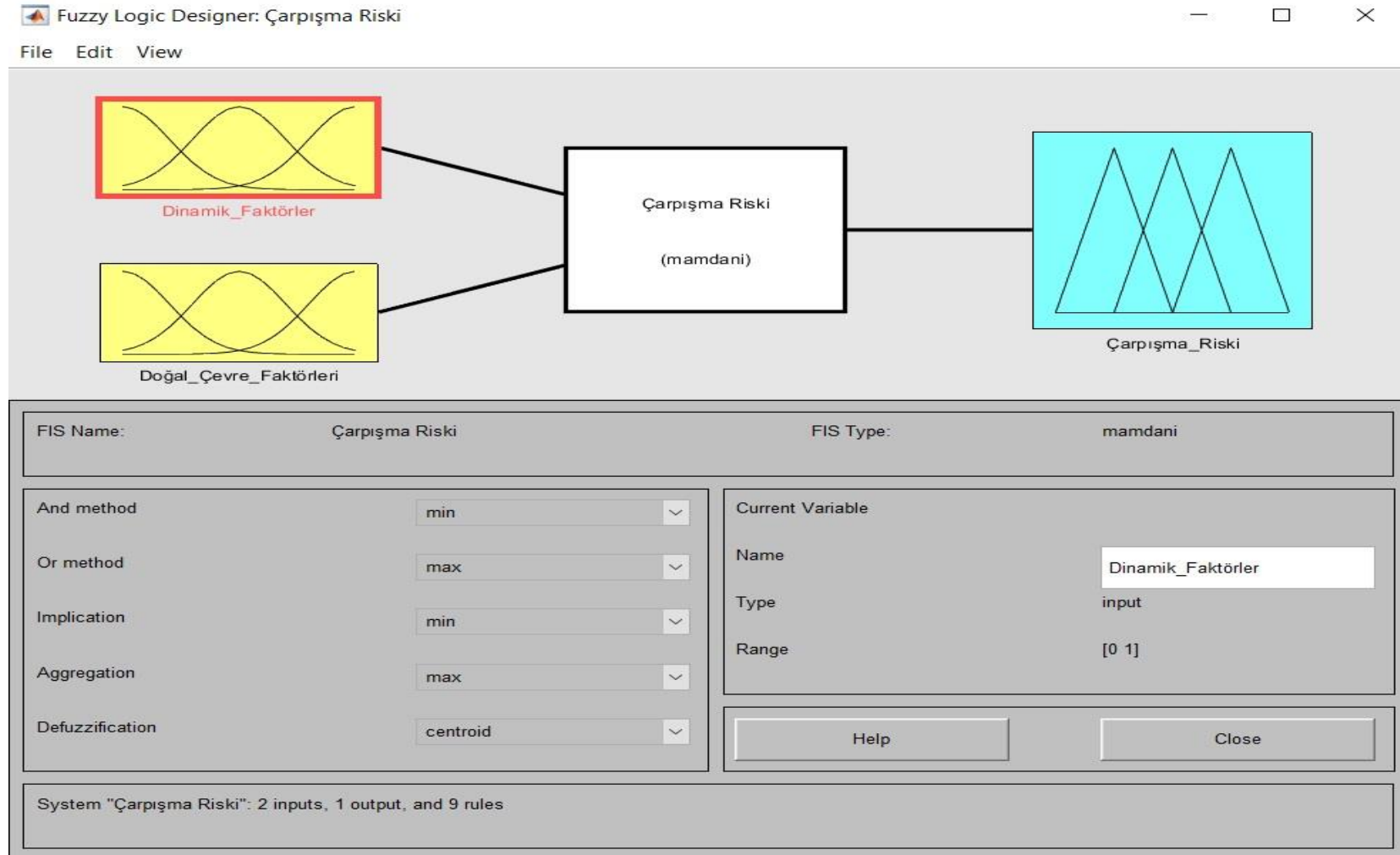
Şekil 5.11: Köprü geçişi boyunca gemi hareketleri.



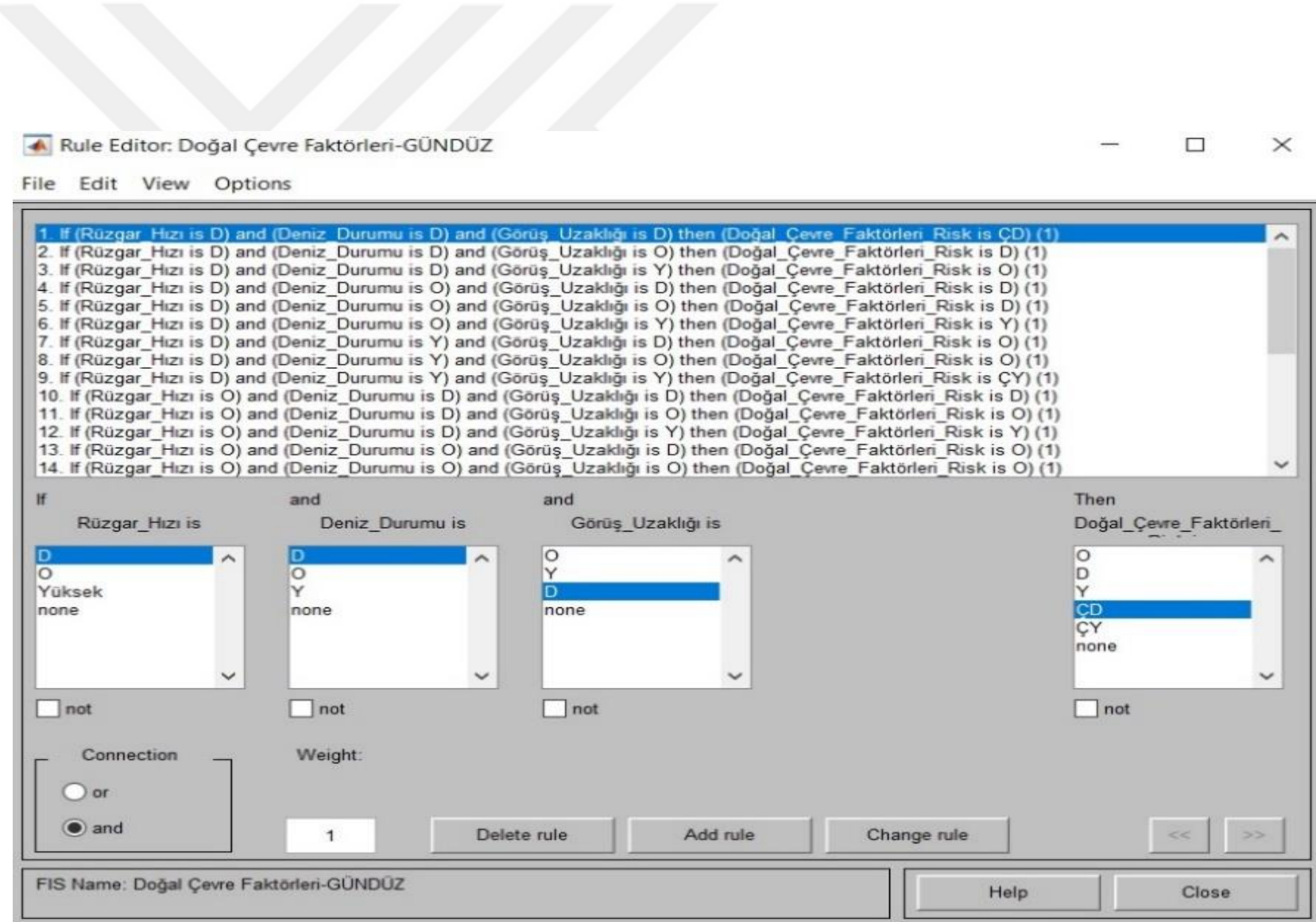
Şekil 5.12: Dinamik faktörler bulanık kümesi.



Şekil 5.13: Doğal çevre faktörleri bulanık kümesi (gündüz geçişleri için).

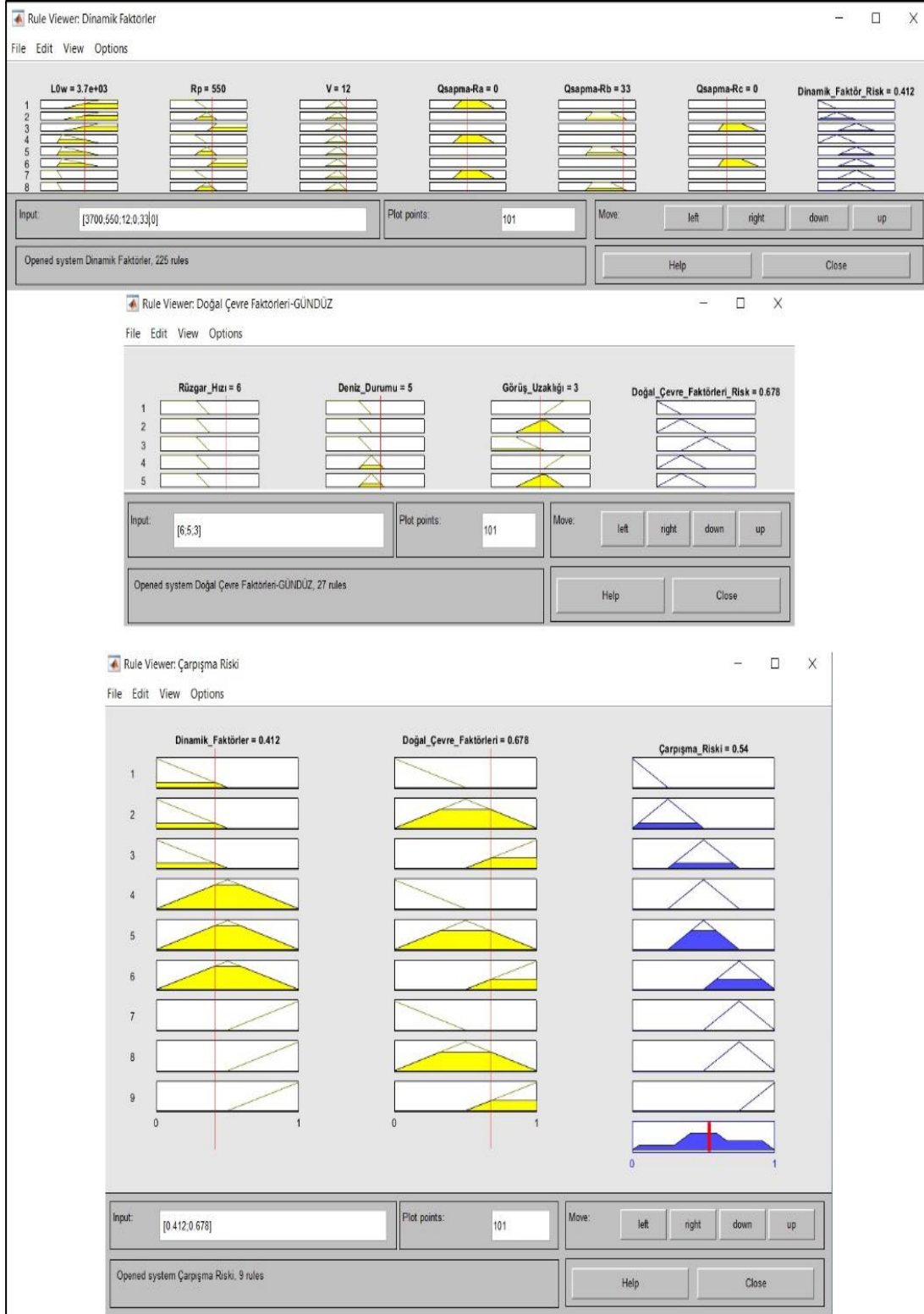


Şekil 5.14: Çarpışma riski bulanık kümesi.



Şekil 5.15: Doğal çevre faktörleri için oluşturulan kural tabanı (gündüz).

Şekil 5.11’de geminin köprü yaklaşımı boyunca izlediği yol görülmektedir. Her bir durum için risk değerlendirmesinin anlık olarak gemi-köprü çarpışma risk analiz modeli ile yapılması önerilmektedir. #3 anında gemini köprü ayağına çarpma risk değerlendirmesi Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.16: Gemi-köprü çarpışma risk değerlendirmesi (#3).

Bütün durumların risk değerlendirmeleri sonucu elde edilen dinamik risk, doğal risk ve çarpışma riski sonuçları **Çizelge 5.9**'da verilmiştir.

Çizelge 5.9: Risk değerlendirme sonuçları.

	Dinamik Risk	Doğal Risk	Çarpışma Riski
#1	0,25	0,678	0,476
#2	0,32	0,678	0,499
#3	0,412	0,678	0,54
#4	0,597	0,678	0,603
#5	0,452	0,678	0,563
#6	0,513	0,678	0,596
#7	0,5	0,678	0,596
#8	0,5	0,678	0,596

Belirtilen senaryoda rüzgâr hızı, deniz durumu ve görüş mesafesi sebebiyle doğal çevre faktörlerinden kaynaklanan riskin yüksekliği dikkat çekmektedir. Böyle şartlar altında seyir emniyetinin korunması açısından azami özeni göstermek daha da önemli hale gelmektedir. #1 anında gemi köprüye uzaklığı bakımından yeterli alana sahip, orta hatta yakın, yüksek bir hızla ve küçük bir sapma derecesiyle seyretmektedir. Bu bakımdan risk kabul edilebilir bir düzeydedir. Gemi, seyrine devam ederken hızını yavaş yavaş geçiş emniyeti açısından yerel otoritelerin tavsiyesiyle 10knot'a düşürmeye başlar. Ancak son dönüşünü biraz geciktirince köprü geçişi için olması gereken rotasından sancağa doğru uzaklaşmaya başlar ve bu sebeple köprü ayağına yakın düşme riski doğar. Riskin en yüksek seviyeye ulaştığı #4 anında gemi yatay olarak orta hattan 820m sancağa düşmüş ve seyredilebilir alan olarak belirlenen bölgeden dışarı çıkmıştır. Ayrıca geminin sapma derecesi halen +26°'dir. Çarpışma riski, kabul edilemez risk seviyesi sınırı olarak belirlenen 0,6 değerini geçtiğinden erken uyarı sistemi uyarı alarmı verir ve gemi uyarılarak rotasını acilen iskeleye alması istenir. Gemi reaksiyon verdikten hemen sonra #5 anında riskin 0,563'e düştüğü görülür. Gemi rotasını iskeleye aldıkça kanal orta hattına yaklaşarak #6 anında rotaya

girer. Gemi köprüye yaklaştığından manevra alanı daralmıştır ve olumsuz doğal koşullar sebebiyle risk halen 0,6 sınırına yakındır. Ancak orta hatta ve emniyetli hızla seyretmesi sağlanan geminin, çarpışma riski kabul edilebilir seviyelerde tutularak, köprü geçişi emniyetle sağlanır.



6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma; ayakları gemilerin geçiş rotası üzerinde bulunan 1915 Çanakkale Köprüsü'nün, büyük seyir zorlukları barındıran Çanakkale Boğazı'ndan geçen gemilerden kaynaklı kaza risklerine karşı korunabilmesi için mevcut tedbirlerin değerlendirilmesi ve can, mal, çevre emniyetinin artırılması motivasyonu ile hazırlanmıştır. Çanakkale Boğazı ve bölgedeki seyir riskleri konusunda büyük bilgi ve tecrübelerle sahip kılavuz kaptanlar, kaptanlar, GTH operatörleri ve akademisyenlerden oluşan uzman ekibiyle çalışma süresince fikir alışverişinde bulunulmuştur. Bu doğrultuda öncelikle köprü ayaklarına gemilerin çarpmasının önlenmesi için alınan mevcut koruyucu ve önleyici tedbirlerin yeterlilikleri değerlendirilmiştir. Daha sonra dünya üzerinde uygulanan tedbirlerin etkinlikleri ve 1915 Çanakkale Köprüsü özelinde uygulanabilirlikleri incelenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar ve çözüm önerileri şu şekildedir:

1915 Çanakkale Köprüsü'nde uygulanan önleyici tedbirler genel anlamda yeterli olarak değerlendirilebilir. Yerel kurallara ve düzenlemelere bazı eklemeler yapılarak ve gemilerin seyir güvenliğini artırmak amacıyla köprü'nün etrafına daha fazla seyir yardımcıları yerleştirilerek önlemlerin yeterliliği daha da artırılabilir. Özellikle 1915 Çanakkale Köprüsü'nün her iki ayağında da en az birer römorkörün her zaman hazır bulundurulması ve olası acil durumlarda müdahale edebilecek durumda olması ek bir düzenleme olarak değerlendirilmelidir.

1915 Çanakkale Köprüsü, Çanakkale GTH'ye bağlı olarak Sektör Gelibolu sınırları içerisinde yer almaktadır. Ancak bu sektör, aynı zamanda Marmara Denizi'nde çok geniş bir alanı da izlemektedir. Sektör Gelibolu; gemilerden boğaz girişlerinden önce rapor almak, boğaza giriş saatlerini belirlemek, pilotlar ile gemiler arasındaki koordinasyonu sağlamak görevlerinin tamamını tek bir sektör olarak yerine getirmektedir. Tüm bu görevlerinin yanı sıra 1915 Çanakkale Köprüsü'nden gemilerin güvenli geçişini izlemeye de devam etmektedir. Bu anlamda, birçok görevin takibini yapmak durumunda kalan Sektör Gelibolu üzerindeki iş yükü hata yapmaya müsait bir

ortam oluşturmaktadır. Bir öneri olarak; köprü geçişi sırasında gemileri azami özenle izlemek, seyir emniyeti için gerekli bilgi akışını verimli bir şekilde gerçekleştirmek ve olası acil durumlarda kurtarma operasyonunu etkin bir şekilde koordine etmek için sadece köprü alanında hizmet verecek ayrı bir GTH sektörü oluşturulmalıdır. Çanakkale GTH'nin mevcut altyapısı yeni bir sektör için yeterlidir. Böylece, yeterli personelin donatılmasıyla sektör sınırları belirlenebilir ve yeni sektör kısa sürede uygulamaya konulabilir.

Gerekli tüm önleyici tedbirler alınsa dahi, gemilerin köprü ayaklarına çarpma riski devam etmektedir. Olası çevresel felaketleri önlemek için, köprü ayakları ne kadar dayanıklı olursa olsun çarpışmanın şiddetini azaltmak için ek koruyucu önlemlere ihtiyaç vardır. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün özellikleri ve doğal koşullar dikkate alındığında, usturmağa koruması en uygulanabilir koruma önlemi olarak görülmektedir. Ancak usturmağaların uygun ölçülerde ve uygun malzemelerden üretilmesi büyük önem taşımaktadır. Mühendislerin bu konuda çalışmaları teşvik edilmelidir.

Çalışmada önleyici bir tedbir olarak bulanık mantık tabanlı bir gemi-köprü çarpışma risk değerlendirme ve erken uyarı sistemi modeli önerilmiştir. Bu sistem; anlık olarak geminin dinamik verilerini ve çevresel verileri analiz ederek kabul edilebilir risk seviyesini aşan gemi hakkında uyarı verecektir. Gerçek zamanlı analizlerin gerçekleştirildiği bu sistem sayesinde gemiler zamanında uyarılacak ve önleyici manevraların çok geç olmadan uygulanması için gemiler ve kurtarma ekipleri uyarılabilecektir. Sonuç olarak, önerilen model GTH operatörlerine yardımcı olacak ve gemilerin köprü geçişlerinin takibinde insan hatası faktörünün önüne geçecektir.

Çanakkale Boğazı'nda bir gemi-köprü çarpışmasının neden olabileceği çevresel zararlar geniş alanları etkileme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle mevcut riski yönetmek ve kontrol altına almak için devlet, akademisyenler, denizciler ve mühendisler gibi ilgili tüm paydaşlar fikir alışverişinde bulunmalı ve gerekli tüm önlemlerin alınması adına bir arada çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akyüz, E., Akgün, I., & Çelik, M.** (2016). A fuzzy failure mode and effects approach to analyse concentrated inspection campaigns on board ships. *Maritime Policy & Management*, 43 (7), 887-908.
- Alcı, M., & Karatepe, E.** (2002). *Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları*. İzmir.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).** (1991). Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges.
- Baykut, F., Aydın, A., & Artuz, I.** (1985). Tanker Yangınlarının doğuracağı çevre sorunlarının bilimsel açıdan incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi Yayınları, No. 1*, s. 60.
- BBC News.** (2019, Nisan 7). BBC. Brazil bridge collapses in Pará state after ferryboat crash: Erişim adresi: <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-47843419>
- Brunning, R.** (2001). *The Somerset Levels*. Current Archaeology. Curr Archaeol, 172, 139-143.
- China Daily.** (2008, Nisan 06). *China Daily*. Captain of cargo vessel blamed for bridge collision. Erişim tarihi: 18 Mart 2021. Erişim adresi: https://www.chinadaily.com.cn/china/2008-04/06/content_6594479.htm
- Dai, T., Nie, W., Liu, Y., & Wang, L.** (2002). Statistical analysis of ship collisions with bridges in China waterway. *Journal of Marine Science and Application*, 1 (2), 28-32.
- Encyclopædia Britannica.** (2016, Ekim 14). *Menai Bridge*. Encyclopædia Britannica: Erişim adresi: <https://www.britannica.com/topic/Menai-Bridge>
- ERM.** (Mart 2018). *Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi-Malkara-Çanakkale Otoyolu Projesi [ÇSED]*. Çanakkale: Çanakkale Otoyol ve Köprüsü İnşaat Yatırım ve İşletme A.Ş. [ÇOK A.Ş.].
- Eurostat.** (2019). Erişim tarihi: 17 Ekim 2020. Erişim adresi: <https://ec.europa.eu/eurostat/portal/page/portal/lang-en/population/data/database>
- Fan, W., Yuan, W., & Chen, B.** (2015). Steel Fender Limitations and Improvements for Bridge Protection in Ship Collisions. *Journal of Bridge Engineering*, 20 (12), doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000785
- Fang, H., Mao, Y., Liu, W., Zhu, L., & Zhang, B.** (2016). Manufacturing and evaluation of Large-scale Composite Bumper System for bridge pier protection against ship collision. *Composite Structures*, 158, 187-198.
- Göksu, S.** (2021). *Emniyetli Gemi Operasyonları İçin Hata Türleri Ve Etkileri Analizi (Fmea)'ne Dayalı Risk Değerlendirme Modeli Geliştirilmesi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- İlgar, R.** (2015). Çanakkale Boğazındaki gemi hareketliliği ve kaza risk haritasının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 65, 1-10.
- İstikbal, C.** (2006). Turkish Straits: Difficulties and The Importance of Pilotage. N. Oral, & B. Öztürk (Eds.), *The Turkish Straits, maritime safety, legal and*

- environmental aspects* (s. 66-80). İstanbul, Turkish Marine Research Foundation.
- Jin-Hyeong, A., Key-Pyo, R., & Young-Jun, Y.** (2012). A study on the collision avoidance of a ship using neural networks and fuzzy logic. *Applied Ocean Research*, 37, 162-173.
- KÆLLBERG, K.-G.** (1980). *Dagar som skakade Sverige*. Dokument Expressen. Erişim adresi: <https://www.expressen.se/nyheter/del-1-dagar-som-skakade-sverige/>
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü.** (2020). *Gemi Trafik Hizmetleri*. Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi: 17 Mart 2021. Erişim adresi: <https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/gemi-trafik-ve-kilavuzluk-hizmeti>
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü.** (2020). *Tarihçe*. Erişim tarihi: 17 Mart 2021. Erişim adresi: <https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/tarihce>
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü.** (2020, Aralık 31). *Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı*. Erişim tarihi: 16 Mart 2021. Erişim adresi: <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/uploads/pages/turk-bogazlari-gemi-gecis-istatistikleri/yillara-gore-karsilastirma-tablosu-6017b898525fc.xlsx>
- Knott, M., & Larsen, O.** (1990). "Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridge. *US Department of Transportation, Federal Highway Administration, publication no: FHWA-RD-91-006*.
- Larsen, O. D.** (1993). *Ship Collision with Bridges: The Interaction Between Vessel Traffic and Bridge Structures*. IABSE, Zurich, pp. 131.
- Matsuzaki, Y., & Jin, H.** (1983). Design Specification of Buffer Structure. *IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structure*, pp. 345-352.
- Mondorf, P. E.** (1983). Floating Pier Protections Anchored by Prestressing Tendons. *IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures*, 42, 362-370.
- Murat, Y.** (2006). Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık İle Modellenmesi. *IMO Teknik Dergi*, 3903-3916.
- New York Times.** (1964). *Tanker Tears Big Gap in Venezuelan Bridge; 5 Drown as Vehicles Plunge into Water Oil Coats Lake*. New York Times. Nisan 8, 1964. Erişim tarihi: 28 Kasım, 2020. Erişim adresi: <https://www.nytimes.com/1964/04/08/archives/tanker-tears-big-gap-in-venezuelan-bridge-5-drown-as-vehicles.html>
- New York Times.** (2001, Eylül 18). *Fifth Body Recovered from Bridge Collapse*. The New York Times. Erişim tarihi: 15 Kasım, 2020. Erişim adresi: www.nytimes.com/2001/09/18/us/fifth-body-recovered-from-bridge-collapse.html
- Oda, K., & Kubo, S.** (1983). Collision Prevention Device of Floating Guideline Type. *IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures*.
- Orakçı, S.** (2006). General Directorate of Coastal Safety and Salvage Administration. N. Oral, & B. Öztürk (Eds.), *The Turkish Straits: Maritime Safety, Legal and Environmental Aspects* (s. 56). İstanbul, Turkish Marine Research Foundation.
- Oral, N.** (2006). The Turkish Straits and the IMO: A Brief History. N. Oral, & B. Öztürk (Eds.), *The Turkish Straits, maritime safety, legal and environmental aspects* (s. 22-29). İstanbul, Turkish Marine Research Foundation.
- Roman, Š., & Andrzej, L.** (2003). Evolutionary-fuzzy system of safe ship steering in a collision situation at sea. *IFAC Proceedings Volumes*, 36 (21), 235-240.

- Sivanandam, S., Sumathi, S., & Deepa, S.** (2007). *Introduction to Fuzzy Logic Using Matlab (Vol.1)*. Berlin: Springer.
- Svensson, H.** (2009). Protection of bridge piers against ship collision. *Steel Construction*, 2 (1), 21-32.
- Svensson, H., & Saul, R.** (1981). Zum Schutz von Brückenpfeilern gegen Schiffsanprall (On the Protection of Bridge Piers against Ship Collision). *Die Bautechnik*, 58, 326-335.
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı.** (2019). *T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı*. Tarihçe. Erişim tarihi: 16 Aralık 2020. Erişim adresi: <https://istanbul.ktb.gov.tr/TR-165066/tarihce.html>
- T.C. Resmi Gazete.** (1982, Nisan 21). *T.C. Resmi Gazete*. İstanbul Limanı Tüzüğü. Erişim tarihi: 3 Ocak 2021. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/17671.pdf>
- T.C. Resmi Gazete.** (1994, Ocak 11). *T.C. Resmi Gazete*. Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Hakkında Tüzük. Erişim tarihi: 19 Şubat 2021. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/21815.pdf>
- T.C. Resmi Gazete.** (1996, Eylül 6). *T.C. Resmi Gazete*. İstanbul Liman Tüzüğü. Erişim tarihi: 19 Şubat 2021. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/22749.pdf>
- T.C. Resmi Gazete.** (1998, Kasım 6). *T.C. Resmi Gazete*. Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü. Erişim tarihi: 19 Şubat 2021. Erişim adresi: [resmigazete.gov.tr/arsiv/23515_1.pdf](https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/23515_1.pdf)
- Taşan, M.** (2019). *Türk Boğazları'ndan Gemi Geçişleri ve Geçiş Sürelerinin Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Tenker, S.** (2019, Aralık 19). *Oda TV*. Erişim tarihi: 23 Mart 2021. Erişim adresi: <https://odav4.com/geminin-koprue-carpmasina-izin-mi-verildi-19121950.html>
- The National Transportation Safety Board.** (2004, Ağustos 31). *The National Transportation Safety Board*. NTSB Determines Cause of I-40 Bridge Collapse in Oklahoma. Erişim tarihi: 14 Eylül 2020. Erişim adresi: https://www.nts.gov/news/press-releases/Pages/NTSB_Determines_Cause_of_I-40_Bridge_Collapse_in_Oklahoma.aspx
- Turan, S.** (2004). Geçiş ve Seyir Güvenliğinin Sağlanmasına Yönelik Düzenlemeler Işığında Türk Boğazları, *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (1), 63-75.
- Türk Dil Kurumu.** (2020). *Türk Dil Kurumu Sözlüğü*. Erişim Tarihi: 17 Kasım 2020. Erişim adresi: <https://www.tdk.gov.tr/>
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2020, Şubat 4). *TÜİK*. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2019. Erişim tarihi: 14 Eylül 2020. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayalı-Nüfus-Kayıt-Sistemi-Sonuçları-2019-33705>
- UN Atlas.** (2010). 44 Percent of us Live in the Coastal Areas. *UN Atlas*. Erişim tarihi: 14 Kasım 2020. Erişim adresi: <http://coastalchallenges.com>
- UNESCO.** (2020). *UNESCO*. World Heritage List. Erişim tarihi: 11 Eylül 2020. Erişim adresi: <https://whc.unesco.org/en/list/>
- United States National Transportation Safety Board** (1978). *Marine accident report: U.S. tankship SS Marine Floridian collision with Benjamin Harrison Memorial Bridge, Hopewell, Virginia, February 24, 1977*. Washington:

- National Transportation Safety Board; Springfield, Va.: For sale by the National Technical Information Service.
- Woisin, G.** (1976). Die Kollisionsversuche der GKSS (The Collision Tests of the GKSS). *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, 17, 465–487.
- Wu, B., Yip, T., Yan, X., & Guedes Soares, C.** (2019, May15). Fuzzy logic-based approach for ship-bridge collision alert system. *Ocean Engineering*, 187, 106-152.
- Xiaobo, Q., Qiang, M., & Li, S.** (2011). Ship collision risk assessment for the Singapore Strait. *Accident Analysis and Prevention*, 43 (6), 2030-2036.
- Zhu, L., Liu, W., Fang, H., Chen, J., Zhuang, Y., & Han, J.** (2019). Design and simulation of innovative foam-filled Lattice Composite Bumper System for bridge protection in ship collisions. *Composites Part B*, 157, 24-35.
- Zubaidah, I., & Ramlee, K.** (2013). Some technical aspects of spills in the transportation of petroleum materials by tankers. *Safety Science*, 51 (1), 202-208.



EKLER

EK A: Gemi-Köprü Kazalarında Koruyucu ve Önleyici Tedbirler Anketi

Uzman Bilgileri

1. Şuan aktif olarak hangi mesleği yapmaktasınız?

Kılavuz Kaptan	Uzakyol Kaptanı	Akademisyen	Gemi Trafik Hizmetleri Operatörü	Diğer (.....)
-------------------	--------------------	-------------	-------------------------------------	------------------

2. Şuan aktif olarak bulunduğunuz mesleği kaç yıldır yapmaktasınız?

≥ 16	11-15	6-10	≤ 5
-----------	-------	------	----------

3. Toplam deniz hizmet süreniz kaç yıldır?

≥ 16	11-15	6-10	≤ 5
-----------	-------	------	----------

4. Öğrenim durumunuz nedir?

Lise	Meslek Yüksek Okulu	Lisans	Yüksek Lisans	Doktora	Diğer (.....)
------	---------------------------	--------	------------------	---------	------------------

Önleyici Tedbirler

1. *Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için önleyici bir tedbir olarak “Gemi Trafik Hizmetleri”ni ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2. *1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için Çanakkale Boğazı'nda hizmet veren “Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri”ni ne derece yeterli bir önleyici tedbir olarak görüyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. *Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için önleyici bir tedbir olarak “Kılavuzluk Hizmetleri”ni ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4. *1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için Çanakkale Boğazı'nda verilen “Kılavuzluk Hizmetleri”ni ne derece yeterli bir önleyici tedbir olarak görüyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5. *Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için önleyici bir tedbir olarak “Römorkör Hizmetleri”ni ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

6. *1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için Çanakkale Boğazı'nda verilen “Römorkör Hizmetleri”ni ne derece yeterli bir önleyici tedbir olarak görüyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

7. Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için önleyici bir tedbir olarak “Yerel Kurallar ve Geçiş Düzenlemeleri”ni ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için Çanakkale Boğazı'nda uygulanan “Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği”ni ne derece yeterli bir önleyici tedbir olarak görüyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

9. Dar su yolları içerisinde inşa edilen köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için önleyici bir tedbir olarak “Fenerler, Şamandıralar ve Diğer Seyir Yardımcıları”ni ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

10. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için Çanakkale Boğazı'nda bulunan “Fenerler, Şamandıralar ve Diğer Seyir Yardımcıları”ni ne derece yeterli buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

11. Dar su yollarında bulunan köprülerin ayaklarına gemi çarpmalarını önlemek için köprü yaklaşımından köprü geçişine kadar gemilerin anlık dinamik verilerini (AIS ve RADAR üzerinden gemi hızı, rotası, köprüye yatay ve dikey uzaklığı vb.) ve anlık çevresel verileri (rüzgâr, akıntı, görüş mesafesi vb.) analiz ederek köprü ayağına çarpma riskini gerçek zamanlı olarak hesaplayacak bir erken uyarı sistemini gemi-köprü kazalarının gerçekleşmesini önlemesi ve VTS operatörlerine teknik destek sağlaması açısından ne derece faydalı bulursunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

12. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için uygulanan mevcut tedbirler ile ilgili bir görüş ve/veya öneriniz var mı?

.....

13. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpmalarını engellemek için mevcut tedbirler haricinde uygulanabilecek yeni bir öneyici tedbir tavsiyeniz var mı?

.....

Koruyucu Tedbirler

1. Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda gemi, köprü ve çevre açısından oluşacak zararları en aza indirmesi için yalnızca “Köprü Ayaklarının Çarpışmaya Dayanacak Kadar Dayanıklı İnşa Edilmiş Olması”nı ve ek bir koruyucu önlem alınmamasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından yalnızca “Köprü Ayaklarının Çarpışmaya Dayanacak Kadar Dayanıklı İnşa Edilmiş Olması”nı ve ek bir koruyucu önlem alınmamasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Yapay Ada Koruması” yapılmasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

4. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Yapay Ada Koruması” yapılmasını ne derece “uygulanabilir” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

5. Varsa, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için “Yapay Ada Koruması” yapılmasını uygulanabilir bulmama sebepleriniz nelerdir? (Birden fazla işaretleme yapılabilir.)

Yapım maliyetleri	Bakım maliyetleri	Seyredilebilir su yollarını daraltması	Doğal koşullar (derinlik, dip yapısı, akıntı vb.)	Yetersiz koruma sağlaması	Diğer (.....)
----------------------	----------------------	--	---	---------------------------------	------------------

6. Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Kazık Destekli Koruyucu Yapılar” yapılmasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

7. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Kazık Destekli Koruyucu Yapılar” yapılmasını ne derece “uygulanabilir” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. Varsa, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için “Kazık Destekli Koruyucu Yapılar” yapılmasını uygulanabilir bulmama sebepleriniz nelerdir? (Birden fazla işaretleme yapılabilir.)

Yapım maliyetleri	Bakım maliyetleri	Seyredilebilir su yollarını daraltması	Doğal koşullar (derinlik, dip yapısı, akıntı vb.)	Yetersiz koruma sağlaması	Diğer (.....)
----------------------	----------------------	--	---	---------------------------------	------------------

9. *Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Usturmaça Koruması” yapılmasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

10. *1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Usturmaça Koruması” yapılmasını ne derece “uygulanabilir” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

11. *Varsa, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için “Usturmaça Koruması” yapılmasını uygulanabilir bulmama sebepleriniz nelerdir? (Birden fazla işaretleme yapılabilir.)*

<i>Yapım maliyetleri</i>	<i>Bakım maliyetleri</i>	<i>Seyredilebilir su yollarını daraltması</i>	<i>Doğal koşullar (derinlik, dip yapısı, akıntı vb.)</i>	<i>Yetersiz koruma sağlaması</i>	<i>Diğer (.....)</i>
--------------------------	--------------------------	---	--	----------------------------------	----------------------

12. *Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Dolfin Koruması” yapılmasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

13. *1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Dolfin Koruması” yapılmasını ne derece “uygulanabilir” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

14. Varsa, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için “Dolfin Koruması” yapılmasını uygulanabilir bulmama sebepleriniz nelerdir? (Birden fazla işaretleme yapılabilir.)

Yapım maliyetleri	Bakım maliyetleri	Seyredilebilir su yollarını daraltması	Doğal koşullar (derinlik, dip yapısı, akıntı vb.)	Yetersiz koruma sağlaması	Diğer (.....)
----------------------	----------------------	--	---	---------------------------------	------------------

15. Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprünün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Yüzer Koruyucu Yapılar” yapılmasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

16. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Yüzer Koruyucu Yapılar” yapılmasını ne derece “uygulanabilir” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

17. Varsa, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için “Yüzer Koruyucu Yapılar” yapılmasını uygulanabilir bulmama sebepleriniz nelerdir? (Birden fazla işaretleme yapılabilir.)

Yapım maliyetleri	Bakım maliyetleri	Seyredilebilir su yollarını daraltması	Doğal koşullar (derinlik, dip yapısı, akıntı vb.)	Yetersiz koruma sağlaması	Diğer (.....)
----------------------	----------------------	--	---	---------------------------------	------------------

18. Dar su yolları içerisinde bulunan bir asma köprünün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Kılavuz Yapılar” yapılmasını ne derece “etkili ve önemli” buluyorsunuz? (0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

19. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda hem gemi hem de köprü tarafında oluşacak etkiyi en aza indirmesi açısından köprü ayaklarının etrafına “Kılavuz Yapılar” yapılmasını ne derece “uygulanabilir” buluyorsunuz?

(0: çok az, 10: çok fazla)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

20. Varsa, 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayakları için “Kılavuz Yapılar” yapılmasını uygulanabilir bulmama sebepleriniz nelerdir? (Birden fazla işaretleme yapılabilir.)

Yapım maliyetleri	Bakım maliyetleri	Seyredilebilir su yollarını daraltması	Doğal koşullar (derinlik, dip yapısı, akıntı vb.)	Yetersiz koruma sağlaması	Diğer (.....)
----------------------	----------------------	--	---	---------------------------------	------------------

21. 1915 Çanakkale Köprüsü'nün ayaklarına gemi çarpması durumunda gemi, köprü ve çevre açısından oluşacak zararları azaltmak için uygulanabilecek farklı bir koruyucu tedbir öneriniz var mı?

.....

EK B: Gemi-Köprü Çarpışma Risk Analiz Modeli Anketi

Uzman Bilgileri

1. *Şuan aktif olarak hangi mesleği yapmaktasınız?*

Kılavuz Kaptan	Uzakyol Kaptanı	Akademisyen	Gemi Trafik Hizmetleri Operatörü	Diğer (.....)
-------------------	--------------------	-------------	--	------------------

2. *Şuan aktif olarak bulunduğunuz mesleği kaç yıldır yapmaktasınız?*

≥ 16	11-15	6-10	≤ 5
-----------	-------	------	----------

3. *Toplam deniz hizmet süreniz kaç yıldır?*

≥ 16	11-15	6-10	≤ 5
-----------	-------	------	----------

4. *Öğrenim durumunuz nedir?*

Lise	Meslek Yüksek Okulu	Lisans	Yüksek Lisans	Doktora	Diğer (.....)
------	---------------------------	--------	------------------	---------	------------------

Dinamik Faktörler

1915 Çanakkale Köprüsü için Dikey Uzaklık (Baştan Mesafe) Risk Değerleri

Sıradaki sorularda 1915 Çanakkale Köprüsüne ait temsili bir çizim yer almaktadır.

C noktası: yeterli manevra alanının bulunduğu düşük riskli bölge başlangıcı (yaklaşık 3,5 nm)

B noktası: manevra alanının kısmen daraldığı orta riskli bölge başlangıcı

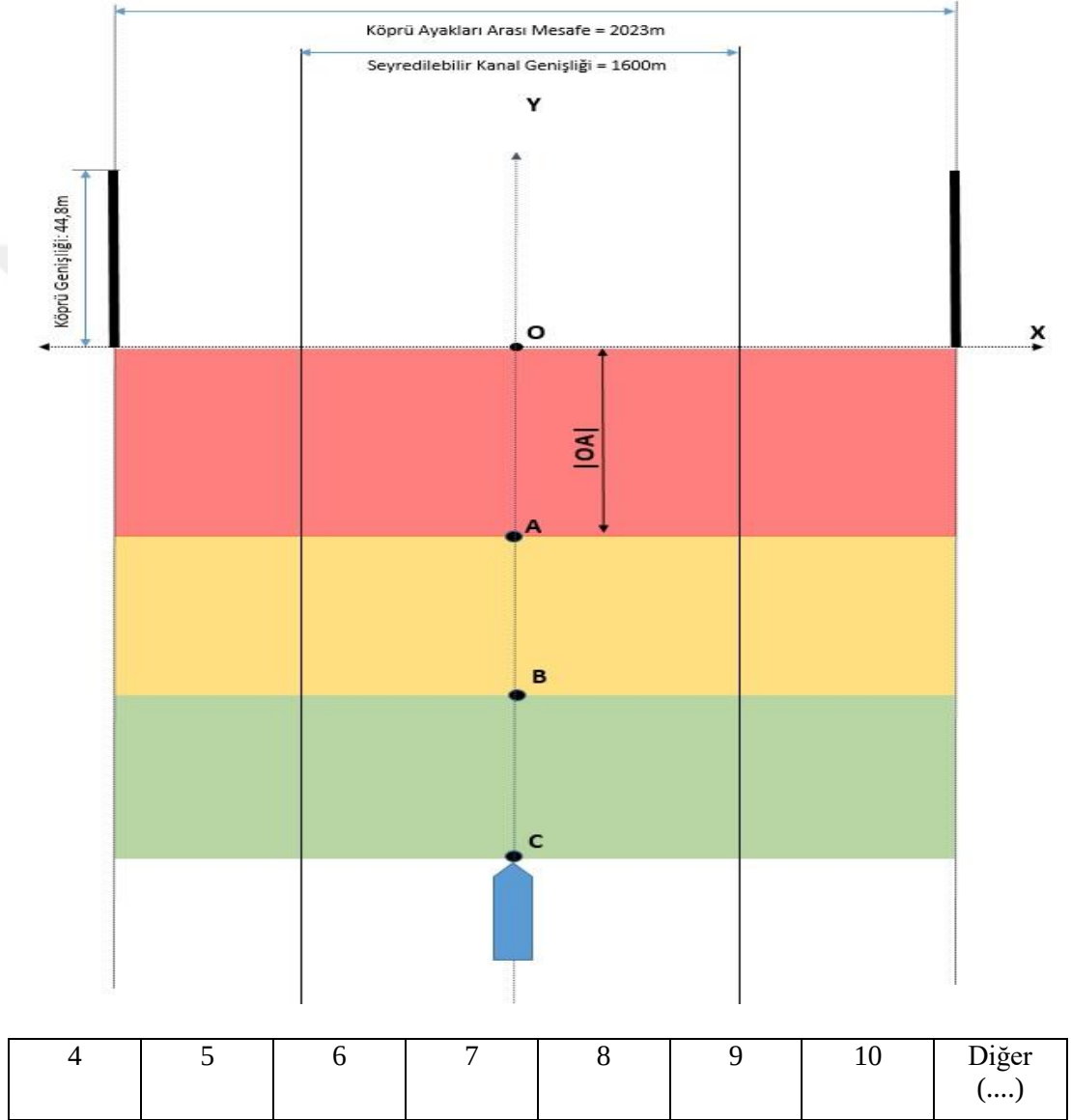
A noktası: manevra alanının daraldığı yüksek riskli bölge başlangıcı

*Lütfen bu bölümdeki soruları cevaplarken çevresel faktörleri ihmal ediniz. Bu faktörlere ayrıca değinilecektir.

*Çanakkale Boğazı'nda trafik akışı iki yönlüdür. Ancak, bu çalışmada boğaz içerisinde seyreden bir geminin her iki köprü ayağına da çarpma riski incelendiğinden dolayı iki köprü ayağı arasındaki mesafenin tamamı hesaba katılmıştır.

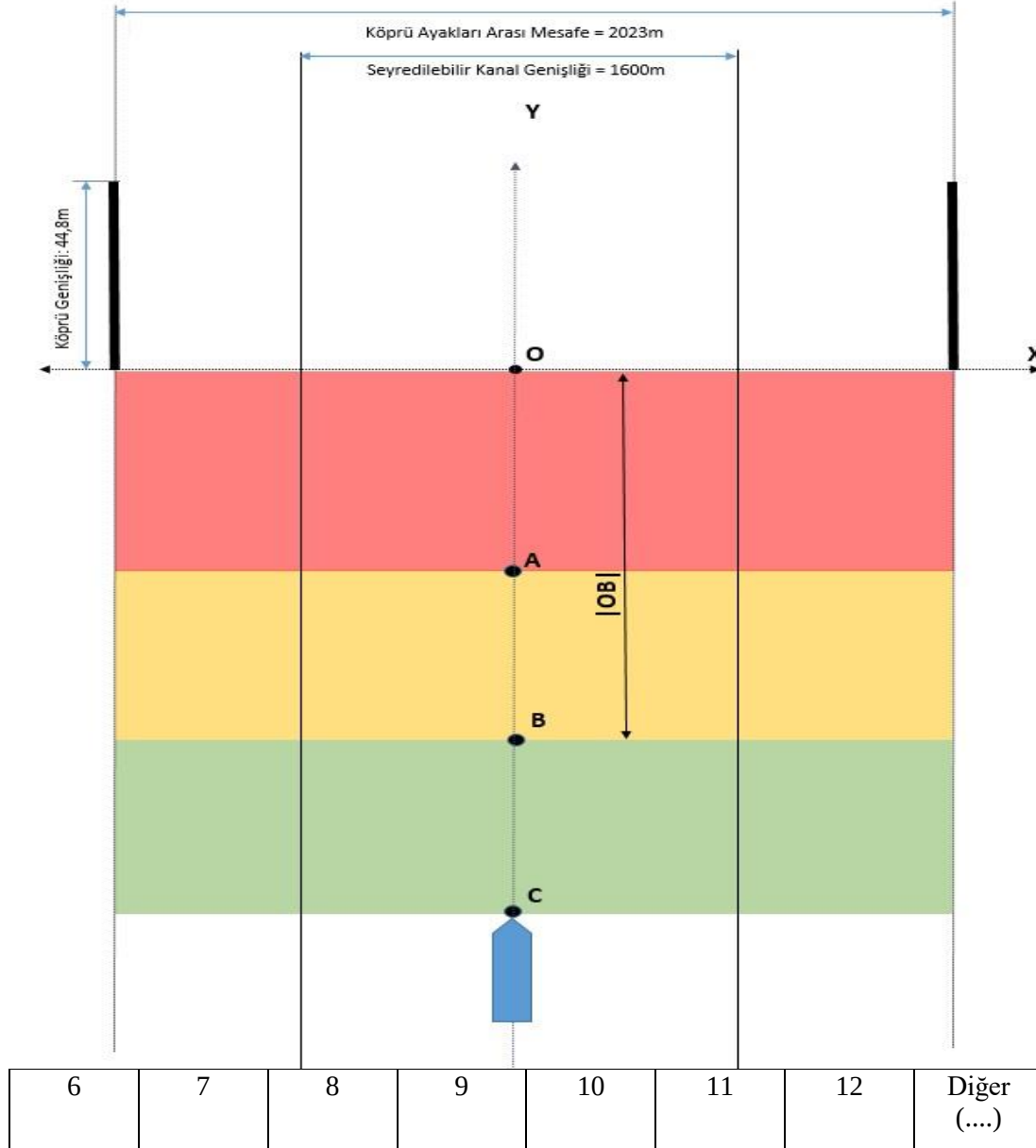
1. Manevra alanının çok daraldığı, “Yüksek Riskli” bölge olarak belirlenen kırmızı bölgenin başlangıcı olan A noktasının köprüden uzaklığı ($|OA|$) gemi boyunun kaç katı olmalıdır?

(Örneğin; 200 metrelik bir gemi için 5 kat seçeneğini işaretlemeniz halinde, geminin olası bir acil durumda köprü ayaklarına çarpmasını engellemek adına gerekli karşı tedbirlerin (demir atmak, römorkör bağlamak vs.) alınması için manevra alanının çok dar olduğu yüksek riskli bölgeyi baş taraftan 1000 metrelik mesafe olarak kabul etmiş olursunuz.)



2. Manevra alanının kısmen daraldığı “Orta Riskli” bölge olarak belirlenen sarı bölgenin başlangıcı olan B noktasının köprüden uzaklığı ($|OB|$) gemi boyunun kaç katı olmalıdır?

(Örneğin; 200 metrelik bir gemi için 8 kat seçeneğini işaretlemeniz halinde, geminin olası bir acil durumda köprü ayaklarına çarpmasını engellemek adına gerekli karşı tedbirlerin (demir atmak, römorkör bağlamak vs.) alınması için manevra alanının kısmen yeterli olduğu orta riskli bölgeyi baş taraftan 1600 metrelik mesafe olarak kabul etmiş olursunuz.)



3. 1915 Çanakkale Köprüsü'nden geçiş yapacak olan bir geminin hızı kaç knot altında olursa köprü ayaklarına çarpma riskinin “yüksek” olduğunu düşünürsünüz?

2	3	4	5	6	7	Diğer (...)
---	---	---	---	---	---	-------------

Çevresel Faktörler

a. Deniz Durumu

Lütfen bu bölümde yer alan soruları, douglas deniz ölçeğini baz alarak cevaplayınız.

Douglas Deniz Ölçeği Derecesi	Dalga Yüksekliği (m)	Açıklama
0	Dalga yok	Durgun (cam gibi)
1	0 – 0.1	Durgun (kırışik)
2	0.1 – 0.5	Sakin
3	0.5 – 1.25	Hafif
4	1.25 – 2.5	Orta
5	2.5 – 4	Sert
6	4 – 6	Çok Sert
7	6 – 9	Yüksek
8	9 – 14	Çok Yüksek
9	14 ve üstü	Olağanüstü

1. Douglas deniz ölçeğine göre, hangi dereceleri köprü geçişi yapacak gemilere oluşturacağı risk açısından “düşük risk” sınıfına koyarsınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Douglas deniz ölçeğine göre, hangi dereceleri köprü geçişi yapacak gemilere oluşturacağı risk açısından “orta risk” sınıfına koyarsınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3. Douglas deniz ölçeğine göre, hangi dereceleri köprü geçişi yapacak gemilere oluşturacağı risk açısından “yüksek risk” sınıfına koyarsınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

b. Rüzgâr Hızı

Lütfen bu bölümdeki soruları Beaufort skalasını baz alarak cevaplayınız.

Sıradaki sorulardaki risk kavramlarını, gemilerin 1915 Çanakkale Köprüsü'nü geçişleri esnasında köprüünün ayaklarına çarpma riski olarak kabul ediniz.

Bofor Skalası	Rüzgâr Hızı (knot)	Durum
0	0	Sakin
1	1-3	Esinti
2	4-6	Hafif Rüzgâr
3	7-10	Tatlı Rüzgâr
4	11-16	Orta Rüzgâr
5	17-21	Sert Rüzgâr
6	22-27	Kuvvetli Rüzgâr
7	28-33	Hafif Fırtına
8	34-40	Fırtına
9	41-47	Kuvvetli Fırtına
10	48-55	Tam Fırtına
11	56-63	Çok Şiddetli Fırtına
12	64 ve üzeri	Kasırğa

1. Beaufort skalasındaki ölçeklerden hangilerini, gemilere oluşturacağı köprü ayağına çarpma riski açısından “düşük risk” sınıfına koyarsınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Beaufort skalasındaki ölçeklerden hangilerini, gemilere oluşturacağı köprü ayağına çarpma riski açısından “orta risk” sınıfına koyarsınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3. Beaufort skalasındaki ölçeklerden hangilerini, gemilere oluşturacağı köprü ayağına çarpma riski açısından “yüksek risk” sınıfına koyarsınız? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

c. Görüş Mesafesi

Sıradaki sorulardaki risk kavramlarını, gemilerin 1915 Çanakkale Köprüsü'nü geçişleri esnasında köprü'nün ayaklarına çarpma riski olarak kabul ediniz.

1. *Görüş mesafesi kaç milin üzerinde ise, köprü geçişi yapacak gemiler açısından “düşük risk” oluşturacağını düşünürsünüz?*

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

2. *Görüş mesafesi kaç milin altında ise, köprü geçişi yapacak gemiler açısından “orta risk” oluşturacağını düşünürsünüz?*

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

3. *Görüş mesafesi kaç milin altında ise, köprü geçişi yapacak gemiler açısından “yüksek risk” oluşturacağını düşünürsünüz?*

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---



EK C: Gemi-Köprü Çarpışması Risk-Analiz Modeli Uzman Cevapları Tabloları

	Uzman-1	Uzman-2	Uzman-3	Uzman-4	Uzman-5	Uzman-6	Uzman-7	Uzman-8	Uzman-9	Uzman-10	SONUÇ		Uzman-1	Uzman-2	Uzman-3	Uzman-4	Uzman-5	Uzman-6	Uzman-7	Uzman-8	Uzman-9	Uzman-10	SONUÇ
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42	3	5	2	4	3	4	4	3	5	3	3,6
2	3	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1,7	43	2	4	2	3	2	4	3	4	5	3	3,2
3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2	2,6	44	3	4	2	3	2	4	3	4	5	3	3,3
4	2	2	1	2	1	2	2	3	3	1	1,9	45	4	5	3	4	3	4	5	5	5	4	4,2
5	2	3	2	3	1	2	3	3	4	2	2,5	46	2	4	2	3	2	3	3	3	4	3	2,9
6	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3,4	47	2	4	2	3	2	3	4	3	5	3	3,1
7	3	3	3	2	1	3	3	5	4	3	3	48	2	4	4	4	3	4	5	4	5	3	3,8
8	3	4	3	3	1	3	3	5	5	3	3,3	49	2	4	2	3	4	3	2	4	4	3	3,1
9	5	4	3	3	4	3	4	5	5	4	4	50	3	4	2	3	4	4	4	4	5	3	3,6
10	1	3	3	2	1	2	2	2	2	2	2	51	3	5	4	4	5	4	5	5	5	4	4,4
11	3	4	4	3	1	3	4	3	2	2	2,9	52	3	4	4	3	4	4	4	5	4	4	3,9
12	3	4	4	3	2	4	5	4	3	3	3,5	53	4	4	4	4	5	4	5	5	5	4	4,4
13	2	4	3	2	1	2	3	3	3	2	2,5	54	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4,8
14	3	4	3	3	1	3	4	3	4	3	3,1	55	1	3	3	2	1	3	1	3	3	2	2,2
15	3	4	4	3	3	3	5	3	5	3	3,6	56	2	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2,7
16	3	4	4	3	1	3	4	4	4	3	3,3	57	3	3	4	3	1	4	4	4	3	3	3,2
17	3	4	4	3	1	3	5	5	5	3	3,6	58	2	3	3	3	1	3	1	3	4	3	2,6
18	5	5	4	4	4	4	5	5	5	3	4,4	59	2	4	3	3	1	3	3	4	4	3	3
19	1	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2,5	60	4	4	4	3	1	4	4	4	5	3	3,6
20	2	3	3	3	2	3	4	3	3	3	2,9	61	4	3	4	3	1	4	1	5	4	4	3,3
21	2	4	3	4	3	4	5	5	4	3	3,7	62	4	4	4	4	2	4	3	5	5	4	3,9
22	2	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3,2	63	5	4	5	4	3	4	5	5	5	5	4,5
23	2	4	3	3	4	4	5	4	4	3	3,6	64	2	4	3	3	1	3	3	3	3	3	2,8
24	2	4	4	4	4	4	5	5	5	3	4	65	2	4	3	3	1	3	4	3	3	3	2,9
25	2	4	4	3	3	4	2	5	4	3	3,4	66	3	5	4	4	2	4	4	4	4	3	3,7
26	2	4	4	4	4	4	5	5	5	3	4	67	2	4	3	3	2	3	3	4	5	3	3,2
27	3	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4,6	68	3	4	3	3	2	3	4	4	5	3	3,4
28	1	3	2	1	1	2	1	2	3	2	1,8	69	3	5	4	4	2	4	5	5	5	4	4,1
29	2	3	2	3	1	3	2	3	3	2	2,4	70	3	5	4	3	2	4	3	5	4	5	3,8
30	3	4	2	3	1	3	3	3	3	2	2,7	71	3	5	4	4	3	4	4	5	5	5	4,2
31	2	3	2	2	1	2	1	4	3	2	2,2	72	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	4,7
32	2	4	2	3	1	2	3	4	4	3	2,8	73	2	4	4	3	2	4	3	4	3	4	3,3
33	4	4	2	3	1	3	4	4	5	3	3,3	74	2	4	4	4	4	4	5	4	4	4	3,9
34	3	4	2	3	1	3	1	5	4	3	2,9	75	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4,6
35	3	3	2	3	1	3	3	5	4	3	3	76	3	4	4	3	3	4	4	5	3	4	3,7
36	5	4	3	4	1	4	5	5	5	4	4	77	3	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4,1
37	1	3	2	3	1	2	2	3	4	2	2,3	78	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,9
38	2	4	2	3	1	3	3	4	5	3	3	79	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	4,5
39	3	4	2	4	2	3	4	5	5	3	3,5	80	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
40	2	4	2	3	2	3	3	3	5	3	3	81	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
41	3	4	2	3	2	3	4	3	5	3	3,2												

Şekil C.1: Dinamik faktörler uzman cevapları

	Uzman-1	Uzman-2	Uzman-3	Uzman-4	Uzman-5	Uzman-6	Uzman-7	Uzman-8	Uzman-9	Uzman-10	SONUÇ		Uzman-1	Uzman-2	Uzman-3	Uzman-4	Uzman-5	Uzman-6	Uzman-7	Uzman-8	Uzman-9	Uzman-10	SONUÇ
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1,1	28	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1,6
2	3	3	2	2	1	2	2	2	2	1	2	29	3	4	3	2	1	3	3	3	3	2	2,7
3	5	4	3	3	2	4	4	4	2	2	3,3	30	5	3	4	3	2	4	4	4	3	3	3,5
4	2	3	2	2	1	2	1	3	1	2	1,9	31	2	2	3	2	2	3	3	2	1	2	2,2
5	3	3	2	2	1	3	3	3	2	2	2,4	32	3	4	3	3	2	3	4	3	2	3	3
6	5	4	3	4	2	4	5	5	2	3	3,7	33	5	5	4	4	3	4	5	4	2	4	4
7	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2,9	34	3	3	4	3	2	3	4	3	2	3	3
8	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3,2	35	3	5	4	3	3	4	4	4	3	3	3,6
9	5	5	4	4	5	4	5	5	4	4	4,5	36	5	5	5	4	5	5	5	5	4	4	4,7
10	2	2	2	2	1	2	1	2	3	2	1,9	37	2	3	3	2	1	3	3	2	3	3	2,5
11	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	2,6	38	3	4	3	3	2	4	4	2	3	3	3,1
12	5	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3,6	39	5	5	4	3	3	4	5	4	4	4	4,1
13	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2,7	40	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2,7
14	3	4	2	3	2	3	3	3	4	3	3	41	3	4	3	3	2	4	4	3	3	3	3,2
15	5	5	3	4	3	4	5	4	4	3	4	42	5	5	4	4	3	5	5	4	4	4	4,3
16	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	43	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3,2
17	3	4	3	3	5	4	3	4	4	3	3,6	44	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3,5
18	5	5	4	4	5	4	5	5	4	4	4,5	45	5	5	5	4	5	5	5	5	4	4	4,7
19	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2,7	46	2	3	4	2	2	3	3	2	2	3	2,6
20	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3,1	47	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3,4
21	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4,2	48	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4,6
22	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,9	49	2	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3,4
23	3	4	3	3	3	3	5	3	3	3	3,3	50	3	4	4	3	5	4	5	3	4	4	3,9
24	5	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4,4	51	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
25	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3,7	52	3	4	5	4	4	4	4	4	3	5	4
26	3	4	4	4	5	4	5	5	4	3	4,1	53	3	4	5	4	5	4	5	5	4	5	4,4
27	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	54	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Şekil C.2: Doğal çevre faktörleri uzman cevapları

	Uzman-1	Uzman-5	Uzman-3	Uzman-4	Uzman-5	Uzman-6	Uzman-7	Uzman-8	Uzman-9	Uzman-10	SONUÇ
1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1,2
2	3	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2,1
3	4	3	4	3	2	3	4	3	3	3	3,2
4	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2,5
5	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3,3
6	5	5	4	4	4	4	5	4	4	3	4,2
7	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3,6
8	3	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4,4
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Şekil C.3: Çarpışma riski uzman cevapları





ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad

: Muhammed Fatih GÜLEN



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği (%100 İngilizce)
- **Lise** : 2012, Burak Bora Anadolu Lisesi
- **İlkokul** : 2008, Orhan Sinan Hamzaoglu İlköğretim Okulu

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden "Bölüm Birincisi" olarak mezun oldu.
- 2018 yılında DİTAŞ firmasında "Uzakyol Vardiya Zabiti" olarak çalıştı.
- 2019 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde "Yüksek Lisans" öğrenimine başladı.
- 2020 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü'nde "Araştırma Görevlisi" olarak çalışmaya başladı.
- 2020 yılında içerisinde yer aldığı "BOSIET ve FOET Eğitimlerinin OPITO Akreditasyonlu ve Sertifikalı Olarak Yerleştirilmesi" projesi Kurumsal Ödüller kategorisinde Üniversite-Sanayi İşbirliği Dalı'nda "YÖK Üstün Başarı Ödülü"ne layık görüldü.
- 2021 yılında Türkiye'nin ilk altı BOSIET ve FOET eğitmeninden biri olarak İTÜ Teknoloji Transfer Ofisi (ITUNOVA) bünyesinde görevlendirildi.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Gulen, F., Kadioglu, M., Arslan, O.,** 2021. Evaluation of Preventive and Protective Measures Against Collision Risk to Bridge Piers in 1915 Çanakkale Bridge. *International Conference – Stability and Safety of Ships and Ocean Vehicles*, June 07-11, 2021 Glasgow, Scotland.

