

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL BOĞAZI MEVCUT SEPERASYON HATTININ AKINTI KAYNAKLI
GEMİ KAZA RİSKLERİ TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAZA
RİSKLERİNİ MİNİMİZE ETMEK İÇİN EN UYGUN SEPERASYON HATTI
ÖNERİSİNİN GETİRİLMESİ**

Mehmed Serhan ERDAL

Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi Anabilim Dalı

Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi Programı

MAYIS 2023

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL BOĞAZI MEVCUT SEPERASYON HATTININ AKINTI KAYNAKLI
GEMİ KAZA RİSKLERİ TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAZA
RİSKLERİNİ MİNİMİZE ETMEK İÇİN EN UYGUN SEPERASYON HATTI
ÖNERİSİNİN GETİRİLMESİ**

Mehmed Serhan ERDAL

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ender YALÇIN

Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi Anabilim Dalı

Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi Programı

MAYIS 2023

ONAY

Mehmed Serhan ERDAL tarafından hazırlanan “İSTANBUL BOĞAZI MEVCUT SEPERASYON HATTININ AKINTI KAYNAKLI GEMİ KAZA RİSKLERİ TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAZA RİSKLERİNİ MINİMİZE ETMEK İÇİN EN UYGUN SEPERASYON HATTI ÖNERİSİNİN GETİRİLMESİ” adlı tez çalışması 10/05/2023 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ender YALÇIN
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Sedat BAŞTUĞ
(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Murat AYMELEK
(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**İSTANBUL BOĞAZI MEVCUT SEPERASYON HATTININ AKINTI KAYNAKLI GEMİ KAZA RİSKLERİ TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAZA RİSKLERİNİ MİNİMİZE ETMEK İÇİN EN UYGUN SEPERASYON HATTI ÖNERİSİNİN GETİRİLMESİ**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. / / 20...

Mehmed Serhan ERDAL

İmza

ÖNSÖZ

Denizyolu taşımacılığının dünyanın en ekonomik ve en büyük hacme sahip taşıma modu olması, deniz yolu taşımacılığını küresel tedarik zincirinde vazgeçilemez bir konuma taşımıştır. Denizyolu taşımacılığının bu konumunu koruyabilmesi için deniz yolu taşımacılığı ekonomik olmalı ve emniyetli bir şekilde taşımalar gerçekleştirilebilmelidir. Dünya üzerinde artan teknolojiye rağmen gemi kazalarında artış gözlemlenmekte olup, bu kazalardaki artışlar deniz yolu taşımacılığının emniyet ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir. Dünya da meydana gelen kazaları azaltmak adına birçok uygulama veya kural mevcut iken, bunlar arasındaki en belirgin olanı Trafik Ayrım Düzenleri (TAD) ile gelmektedir.

TAD bir denizyolunu ikiye bölerek, özellikle gemi trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde gemi trafiği için kurallar silsilesi yaratabilmekte ve gemi trafiği kaynaklı kazaların önüne geçilebilmektedir. Dünya üzerinde gemi trafiğinin yarattığı kargaşa dolayısıyla meydana gelen kazaları azaltmak amacıyla kullanılan TAD, deniz çevresindeki çevresel ve hava şartları kaynaklı değişkenleri göz ardı edip doğrudan seyir bölgesini ikiye bölmektedir. Ancak İstanbul Boğazı gibi Dünya'nın en tehlikeli su yollarından birisinde akıntı ve İstanbul Boğazı topolojisini dikkate almadan yaratılan TAD'larda yer yer ihmal edilen bu unsur kaynaklı kazalar yaşanabilmekte, kazalara ramak kalabilmektedir.

Bu tez çalışmasında literatürde Potansiyel Akım Teorisi ile elde edilen akıntı modelleri nezdinde İstanbul Boğazı kıyı yapıları ve akıntı rejimi dikkate alınarak, simülasyon tabanlı gemi modelleri üzerinde analizler yapılmıştır. Tüm çevresel dinamikler değiştirilerek, farklı gemi modelleri üzerinde en uygun TAD önerisi getirilerek, statik bir TAD'dan dinamik bir TAD'a geçiş önerilmiştir.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ender YALÇIN'a ve potansiyel akım teorisinin uygulanması sırasında sunmuş olduğu destek dolayısıyla Sayın Dr. Öğr. Üyesi Münir SÜNER'e şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem Leyla'ya, babam Hayrettin'e, yoğun çalışma temposunda benden manevi desteğini esirgemeyen eşim Eda'ya teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL BOĞAZI MEVCUT SEPERASYON HATTININ AKINTI KAYNAKLI GEMİ KAZA RİSKLERİ TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE KAZA RİSKLERİNİ MİNİMİZE ETMEK İÇİN EN UYGUN SEPERASYON HATTI ÖNERİSİNİN GETİRİLMESİ

Mehmed Serhan ERDAL

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ender YALÇIN

Mayıs 2023, 58 sayfa

Dünya taşıma gereksinimlerinin %80'nden fazlası denizyolu ile taşınmakta olup, yılda 38000'den fazla gemi İstanbul Boğazı'ndan bu taşımacılıktan payını alabilmek için geçiş yapmaktadır. İstanbul Boğazı gemiler açısından keskin manevra gerektiren güzergâh ve aynı anda iki farklı yönde akıntı rejiminin gözlemlenmesi nedeniyle en tehlikeli su yolları arasında gösterilmektedir. Karşılıklı gemi geçişlerinin olması ile bu tehlike çok daha yüksek oranlara ulaşabilmektedir.

Bu tez çalışmasında İstanbul Boğazı yapısı kaynaklı akıntı rejimi ele alınarak, İstanbul Boğazı için en uygun trafik ayırım düzeni önerisi sunmak üzere Gemi Köprüüstü Simülatörleri tabanlı risk analizi çalışması yapılmıştır. Simülatörler üzerinde farklı gemi boyutlarına göre, çevresel ve akıntı değişkenleri tanımlanarak, kaza risklerini minimize etmek için en uygun seperasyon hattı önerisi sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Trafik Ayırım Düzeni, İstanbul Boğazı Akıntı Rejimi, Akıntı Kaynaklı Gemi Kazaları, Gemi Köprüüstü Simülatörleri.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

EVALUATION OF THE RISK OF SHIP ACCIDENTS BASED ON THE CURRENT FLOW OF THE ISTANBUL STRAIT'S EXISTING SEPARATION LINE AND PROPOSAL OF THE MOST SUITABLE SEPARATION LINE TO MINIMIZE ACCIDENT RISKS

Mehmed Serhan ERDAL

Bandırma Onyedi Eylül University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Marine Engineering and Maritime Business Administration

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ender YALÇIN

May 2023, 58 pages

More than 80% of the world's transportation needs are carried out by sea, with over 38,000 ships passing through the Istanbul Strait each year to get their share of this transportation. The Istanbul Strait is considered one of the most dangerous waterways due to its sharp maneuvering requirements for ships and the simultaneous observation of two different current regimes. The danger increases significantly with mutual ship crossings.

In this thesis study, the current regime stemming from the structure of the Istanbul Strait is addressed, and a risk analysis study based on Ship Bridge Simulators is conducted to propose the most suitable traffic separation scheme for the Istanbul Strait. Different ship sizes are defined on the simulators, along with environmental and current variables, and the optimal separation line suggestion is presented to minimize accident risks.

Keywords: Traffic Separation Scheme, Istanbul Strait Current Regime, Current Related Ship Accidents, Ship Bridge Simulators.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ.....	VII
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. İSTANBUL BOĞAZI'NIN DENİZ TAŞIMACILIĞINDAKİ YERİ, ÖNEMİ VE ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1 İSTANBUL BOĞAZI'NIN DENİZ TAŞIMACILIĞINDAKİ YERİ	5
2.2 İSTANBUL BOĞAZI'NIN ÖZELLİKLERİ VE YAPISI	6
2.2.1 İstanbul Boğazı'nın Jeomorfolojik Yapısı ve Topografyası	6
2.2.2 İstanbul Boğazı'nda Derinlikler, Adalar ve Banklar	6
2.3 İSTANBUL BOĞAZI AKINTI REJİMİ	7
2.4 İSTANBUL BOĞAZI HAKİM RÜZGAR YÖNÜ VE ŞİDDETİ	8
3. İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ TRAFİK YÖNETİMİ	9
3.1 İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KADAR UYGULANMAKTA OLAN TRAFİK AYRIM DÜZENLERİ.....	9
3.2 İSTANBUL BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ KISIT VE PROSEDÜRLERİ	10
3.2.1 İSTANBUL BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ KISITLARI	10
3.2.2 İSTANBUL BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ PROSEDÜRLERİ	11
3.3 İSTANBUL BOĞAZI'NDA MEYDANA GELEN DENİZ KAZALARI	12
4. MATERYAL VE YÖNTEM	20
4.1 POTANSİYEL AKIM TEORİSİ	21
4.2 GEMİ KÖPRÜÜSTÜ SİMÜLATÖRÜ	22

4.3 TRAFİK AYRIM DÜZENİ BİLEŞENLERİNİN EĞRİ UYDURMA YÖNTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ	27
5. BULGULAR.....	30
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	47
KAYNAKLAR.....	49
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	58



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1: Denizcilik Fakültesi köprüüstü gemi simülatörü.....	23
Şekil 2: Simülatör uygulaması yapılan test alanı.....	23
Şekil 3: Üzerinde çalışılan İstanbul Boğazı seyir haritası.....	24
Şekil 4: Simülatör çalışmasında kullanılan gemi modeli 1.	24
Şekil 5: Simülatör çalışmasında kullanılan gemi modeli 2.	25
Şekil 6: Simülatör çalışmasında kullanılan gemi modeli 3.	25
Şekil 7: Simülatör çalışmasında kullanılan gemi modeli	25
Şekil 8: Akıntı, rüzgar, dalga yüksekliği gibi çevresel dinamiklerin güncellendiği arayüz..	26
Şekil 9: Simülatör senaryo paketlerinde kullanılan hava parametreleri listesi.....	27
Şekil 10: Eğri uydurma yönteminin aşamaları.....	28
Şekil 11: Deniz kazalarının en sık gerçekleştiği ve potansiyel akım teorisi ve simülatör çalışmasının uygulandığı alan.	31
Şekil 12: Potansiyel akım teorisi ile elde edilen İstanbul Boğazı seçilen alanı basınç dağılımı.....	32
Şekil 13: Potansiyel akım teorisi ile elde edilen İstanbul Boğazı seçilen alanı hız dağılımı..	32
Şekil 14: Potansiyel akım teorisi ile elde edilen İstanbul Boğazı seçilen alanı nötr basınç hattı.	33
Şekil 15: İstanbul Boğazında seçilen alan ve nötr basınç hattı.	33
Şekil 16: Dökme yük gemisi ile yere göre 6.8 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Mezar Burnu açıklarından geçiş.....	34
Şekil 17: Dökme yük gemisi ile yere göre 8 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Umuryeri açıklarından geçiş.....	35
Şekil 18: Dökme yük gemisinin yetersiz hız ve uygun manevra yapmaması nedeniyle akıntıya kapılması.....	35
Şekil 19: Akıntıyı yenemeyen dökme yük gemisinin Tarabya önlerinde karaya oturması..	36
Şekil 20: Konteyner gemisi ile yere göre 14.2 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Mezar Burnu açıklarından geçiş.....	37
Şekil 21: Konteyner gemisinin yetersiz hız ve uygun manevra yapmaması nedeniyle akıntıya kapılması.	37
Şekil 22: Konteyner gemisinin akıntı kaynaklı sürüklenmeden kurtulması.	38

Şekil 23: Akıntıyı yenemeyen konteyner gemisinin Naletburun önlerinde karaya oturması.....	38
Şekil 24: Lo-Ro gemisi ile yere göre 13.6 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Mezar Burnu açıklarından geçiş.....	39
Şekil 25: Lo-Ro gemisi ile Kireçburnu açıklarında seperasyon hattında açıkta geçiş yapılırken geminin akıntıya kapılması.....	39
Şekil 26: VLCC gemisi ile Kireçburnu açıklarından geçerken akıntıya kapılarak sürüklenme.	40
Şekil 27: VLCC gemisi ile Kireçburnu açıklarında akıntı nedeniyle karaya oturma.	41
Şekil 28: Gemi dümen komutundan dönmesine kadar geçen süreç ve dönme eğrisi.	41
Şekil 29: Pivot Noktası	42
Şekil 30: Yanlama.....	43
Şekil 31: Gemilerin boylarına göre izlemesi tavsiye edilen rotalar.....	45

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3-1: İstanbul Boğazı'nda 1960-2023 yılları arasında meydana gelen kazalar.....	12
Tablo 3-2: Boğazlardan uğraksız geçen gemi sayısı ve tonajlarındaki artış.....	14
Tablo 3-3: İstanbul Boğazı'ndan 2019 yılında geçen gemi istatistikleri.....	16
Tablo 3-4: İstanbul Boğazı'ndan 2020 yılında geçen gemi istatistikleri.....	17
Tablo 3-5: İstanbul Boğazı'ndan 2021 yılında geçen gemi istatistikleri.....	18
Tablo 3-6: İstanbul Boğazı'ndan 2022 yılında geçen gemi istatistikleri.....	19
Tablo 5-1: Simülasyon çalışması esnasında kullanılan gemi tipleri ve simülasyonda izlediği dönüş mevkileri.....	44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

$F(z)$	: Kompleks potansiyel
φ	: Potansiyel fonksiyonu (Phi)
ψ	: Akım fonksiyonu (Psi)

Kısaltmalar

Açıklama

TAD	: Trafik Ayrım Düzeni
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization)
IMCO	: Hükûmetler Arası Deniz Danışma Örgütü (Inter-Governmental Maritime Consultative Organization)
COLREG	: Convention on the International Regulations for Preventing Collision at Sea
DÇÖY	: Denizde Çatışmayı Önleme Yönetmeliği
TBGTH	: Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AB	: Avrupa Birliği
TÜBRAP	: Türk Boğazları Rapor Sistemi
SP	: Seyir Planı
VLCC	: Çok Büyük Ham Petrol Taşıyıcı Tanker (Very Large Crude Carrier)
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
LO-RO	: Tekerlekli Araç Taşıyan ve Kargosunu Kreyn Vasıtasıyla Yükleyip Boşaltabilen Gemi (Roll on – Roll Off ile Lift On – Lift Off)
ECDIS	: Elektronik Harita ve Bilgi Gösterim Sistemi

1. GİRİŞ

1.1 TEZİN KAPSAMI

Dünya taşıma gereksinimlerinin %80'den fazlası denizyolu ile taşınmaktadır [1]. Denizyolu taşımacılığı ile karşılanan bu gereksinimlerin önemli bir kısmı İstanbul Boğazı'nı kullanan gemiler ile olmaktadır. 2022 verilerine göre yerel trafik hariç yılda 35146 geminin geçtiği İstanbul Boğazı'nda her saat yaklaşık 4 gemi geçişi gerçekleşmektedir [2]. Yerel trafikle birlikte günde 2000'den fazla geminin geçtiği İstanbul Boğazı bu yönüyle dünyanın en yoğun su yolları arasında gösterilmektedir [3]. Öyle ki İstanbul Boğazı gemi geçiş istatistiği ile Panama Kanalı'ndan yaklaşık 3 kat, Süveyş Kanalı'ndan 2 kat ve Kiel Kanalı'ndan 1,5 kat daha yoğun bir gemi trafiğine sahiptir [4].

İstanbul Boğazı dünyanın en yoğun gemi trafiğine sahip su yolu olmasının yanı sıra, Umuryeri, Yeniköy, Kanlıca, Kandilli ve Kızkulesi gibi keskin manevra yapılması gerekli rota bileşenleri ile (Kandillide 45°, Yeniköyde 80°, Umur Bankı/Umuryerinde 70°) dünyanın en tehlikeli su yolları arasında sayılmaktadır [3]. Ortalama 1500 m genişliğe sahip olan İstanbul Boğazı'nda en dar nokta 696 metredir. İstanbul Boğazı'nın iki ucunda yer alan Marmara Denizi ve Karadeniz arasında yaklaşık 50 m yükselti farkı bulunmaktadır. Ayrıca bu iki su yolu arasında ciddi yoğunluk farkı bulunmaktadır [5]. Yükselti farkı ve yoğunluk farkları dolayısıyla İstanbul Boğazı'nda dip ve yüzey akıntısı olmak üzere ters yönlü iki farklı akıntı rejimi görülmektedir. İstanbul Boğazı'nın keskin manevra gerektiren ve daralan-genişleyen kıyı yapısı beraberinde değişen akış rejimi dolayısıyla akıntının da stabil olmayarak İstanbul Boğazı'nın belirli bölgelerinde 6-8 knot'a varabilen gemiler için diğer bir seyir risk unsurunu oluşturmaktadır [6]. Böylece keskin dönüş gereksinimleri tehlikeli akıntı bölgeleri nezdinde İstanbul Boğazı'nı diğer su yollarından daha da riskli bir bölge konumuna getirmektedir [7]. Tüm bu seyir riskleri bir araya geldiğinde İstanbul Boğazı'nda, her yıl birçok gemi kazası gözlemlenmektedir. Böylece İstanbul Boğazı'nda emniyetli seyir yapabilmek adına akıntı rejiminin iyi bilinmesi, akıntıyla karşılaşmadan önce manevraya başlanması, gemi trafiğinin iyi planlanması ve yönetilmesi, yerel kuralların çevresel dinamikler göz önüne alınarak uygulanması kritik öneme sahiptir.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı verilerine göre, İstanbul Boğazı üzerinden taşınan tehlikeli madde miktarı her yıl artmaktadır. 2010 yılında taşınan tehlikeli madde miktarı yaklaşık olarak 359 milyon ton iken, bu oran 2018 yılında yaklaşık olarak 439 milyon tona ulaşmış ve bunun

yaklaşık 147 milyon tonu tankerlerle taşınmıştır [8]. Bu kadar büyük boyutlarda tehlikeli yükün taşındığı ve çevresinde 17 milyondan fazla kişinin yaşadığı İstanbul Boğazı'nda meydana gelebilecek büyük çaplı bir kazada büyük çevresel ve insani felaketin meydana gelmesi olasıdır [9]. İstanbul Boğazı gibi dar su yollarında, trafik ayırım düzeni (TAD), pilotaj hizmeti, gemi trafik hizmetleri emniyetli seyrin sağlanması için başvurulmuş en önemli uygulamalardır [10, 11, 12]. Her ne kadar İstanbul Boğazı'nda anılan tüm bu uygulamalara yer verilse de kaza riskleri henüz ortadan kaldırılamamıştır. Yapılan bir çalışmaya göre 1953-2002 yılları arasında İstanbul Boğazı'nda yoğunluğu çatma olan toplam 461 gemi kazası yaşanmıştır. TAD'ın uygulanmaya başlandığı 1994 yılından 2002 yılına kadar yoğunluğu karaya oturma olan 82 gemi kazası vuku bulmuştur ve İstanbul Boğazı'nda meydana gelen bu kazaların %55'ine akıntı, keskin manevra gereksinimleri ve düşük görüş şartları sebep olmuştur [13]. İstanbul Boğazı'ndaki bu kazaların gerçekleştiği yerlere bakıldığında ağırlıklı olarak akıntının yön değiştirdiği, akıntı hızının arttığı, su yolunun darlaştığı/sığlaştığı ve gemi trafiğinin artış gösterdiği bölgelerde olduğu gözlemlenmiştir [14]. Bu bulgularda böylece birbirini destekler niteliktedir.

İstanbul Boğazı gemi trafiği son yüzyıl içerisinde farklı kurallara tabi olarak yönetilmiştir. Bunlar arasında Sol Trafik Ayırım Düzeni, Sağ Trafik Ayırım Düzeni ve Çift Yönlü Trafik Ayırım Düzeni yer almıştır [15]. En son uygulama da Çift Yönlü Trafik Ayırım Düzeni yerini korumakta olup, Marmaray inşaatı nedeniyle İstanbul Boğazı gemi trafiği çift yönlü geçişten-tek yönlü geçişe dönmüştür. Marmaray inşaatının bitmesi nedeniyle çift yönlü geçişten tek yönlü geçişe dönüş olacak mı sorusunun cevabı henüz belirsizdir. İstanbul Boğazı'nda tek yönlü geçiş olması durumunda dahi son zamanlarda yaşanan kaza olaylarında artış gözlemlenmektedir [16]. İstanbul Boğazı coğrafi yapısı nedeniyle özellikle yüzey akıntıları kıyı yapılarına temasla yön ve hızını değiştirmekte ve İstanbul Boğazı'nda enine kesit alındığında kıyıya yakın yerlerde seyir yapan gemilerin karaya doğru savrulmasına neden olan akıntılar ortaya çıkabilmektedir. Yapılan bir çalışma da kıyı yapıları kaynaklı akıntı hızı ve yönündeki değişimler iki boyutlu potansiyel akım teorisi ile modellenmiştir [17]. Elde edilen bulgular yukarıda anılan kaza sebepleri arasında gösterilen yüksek akıntı hız değerleri ve keskin manevra gereksinimleri gerektiren alanlara gemi kaza risklerini azaltmak adına odaklanılması gerektiğini bir kez daha teyit etmiştir.

Dünya üzerinde gemi trafiği kaynaklı kazaları azaltmak adına getirilen en önemli düzenleme TAD'dır. TAD uygulamalarında deniz kıyı yapıları ve çevresel dinamikler göz önünde bulundurulmadan, su yolu ortadan ikiye bölünerek seyir haritalarında yerini almaktadır. Ancak İstanbul Boğazı gibi su yollarında gözlemlenen kazalardan öğrenilenler, literatürde potansiyel akım teorisi gibi akıntı analizini içeren matematiksel modellerin bulguları göstermektedir ki, salt

su yolunu ortadan ikiye bölmeye dayalı TAD uygulaması kazaları önlemek için tek başına yeterli değildir (1994-2002 yılları arasında TAD uygulamasına rağmen gözlemlenen 82 adet gemi kazasında bunu teyit etmektedir). Özellikle artan gemi boylarında, keskin manevralar daha zorlaşmakta ve risk katsayısı hızla artmaktadır. Buradan hareketle bu tez çalışmasında Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi'nde kurulu olan köprüüstü simülatörü kullanılarak farklı gemi boylarını içeren gemi modelleri seçilmiş ve tüm çevresel değişkenler ve gemi manevra karakteristikleri nezdinde dinamik bir TAD modeli önerisi getirilmiştir. Bu kapsamda literatürde yerini almış potansiyel akım teorisi ile akıntı analizi uygulaması ve gerçek gemi operasyonları simülatör çalışması nezdinde bir araya getirilerek, iki boyutlu potansiyel akım teorisi-köprüüstü simülatörü entegrasyonu ile literatüre yeni bir TAD uygulaması kazandırılmıştır. Böylece TAD uygulamasına rağmen yaklaşık 82 kaza istatistiğine sebep olan akıntı, keskin manevra temelli gemi kazalarının daha da aşağı çekilmesi amaçlanmıştır.

1.2. TEZİN SINIRLANDIRILMASI

Bu tez çalışmasında Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi köprüüstü simülatörleri kullanılmıştır. Tezin sınırlamasını kullanılan köprüüstü simülatörlerindeki gemi modelleri belirlemiştir. Sistemde mevcut olan gemi modelleri form yapısı ve karakteristikleri nezdinde simülatör çalışmaları tamamlanmıştır. Simülatör çalışmasında akıntı hız ve yön değişimi için literatür taramasında bulunan potansiyel akım teorisi bulguları kullanılmıştır. Potansiyel akım teorisi ile yapılan hesaplamalar sırasında başvuru varsayım ve sınırlamalar bu sebeple bu tez çalışmasında aynen kabul edilmiştir. Her ne kadar çift yönlü trafik söz konusu olsa da İstanbul Boğazı'ndan Marmaray inşaatı ile birlikte 12 saat kuzey giriş – 12 saat güney giriş olmak üzere tek yönlü trafik uygulaması halihazırda mevcuttur. Buradan hareketle tez çalışması sırasında Gemi Köprüüstü Simülatörleri üzerinde İstanbul Boğazı mevcut trafik yönetim uygulaması referans alınarak (DÇÖY dahil), tek yönlü gemi geçişleri sağlanmıştır. Simülatör çalışmalarında kullanılmak üzere İstanbul Boğazı meteorolojik şartları için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü üzerinden 2017-2020 yıllarını kapsayan 3 yıllık veri alınmıştır. Bu veriler İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemiler için uygulanmıştır. Gerçeğe uygun hareket etme amacıyla elde edilen meteorolojik verilerde mevcut olmayan ama Köprüüstü Simülatörlerinde mevcut olan diğer hava şartları değerlendirmeye alınmamıştır. Tez kapsamında getirilen dinamik TAD hattı için gemilerin waypointler üzerinde ki dönme eylemi gözlemlenmiştir. Elde edilen bu bir dizi veri noktasına göre eğri uydurma yaklaşımına

başvurularak, gemi özelinde dinamik TAD önerisi getirilmiştir. Geminin bu hareketi sırasında simülatörler üzerindeki atalet vb. diğer hesaplamalar haricinde tekrar atalet vd. hesaplamalar yapılmamıştır. Simülatörler üzerinde hesaplanan bu değerler varsayılan değer kabul edilmiştir.



2. İSTANBUL BOĞAZI'NIN DENİZ TAŞIMACILIĞINDAKİ YERİ, ÖNEMİ VE ÖZELLİKLERİ

2.1 İSTANBUL BOĞAZI'NIN DENİZ TAŞIMACILIĞINDAKİ YERİ

Boğazlar Bölgesi, Asya kıtasının uzantısı olan ve kısırak başını andıran Anadolu yarımadası ile Avrupa kıtasını bağlayan bir geçişi oluşturarak ve iki kıta arasında geçişi sağlayarak, asırlar boyunca medeniyetlerin kesişme noktası olduğu gibi, ülke çıkarlarının da çatışma noktası olarak yeryüzünde yer alan güç dengelerini yüzyıllar boyunca etkilemiştir ve etkilemeye devam etmektedir [18]. Asya kıtası ile Avrupa kıtasını coğrafi olarak birbirine bağlamasının yanında, uygarlıkların karışımıyla oluşmuş jeopolitik ve jeokültürel bir köprü niteliğiyle, dünyanın en önemli deniz yollarından biri olan İstanbul ve Çanakkale Boğazları, bölgeye hakimiyet kurmak isteyen tüm güçlü devletlerin en önemli amacı olmasının yanında, ona hükmeden ülkelerin ise, en önemli politika aracı olmuştur [18]. İstanbul Boğazı, dünya deniz ticaretinde stratejik bir konuma sahiptir. Boğaz, Asya ile Avrupa arasındaki deniz ticaretinin önemli bir geçiş noktasıdır. Boğaz, Karadeniz'e açılan tek doğal geçit olduğundan, Rusya, Ukrayna, Romanya, Bulgaristan ve Gürcistan dahil olmak üzere Karadeniz'e kıyısı olan ülkelerin deniz ticareti açısından da büyük önem taşır.

20'nci yüzyılda Karadeniz, kıyıdaş devletler arasındaki etkileşimin arttığı ve havza dışındaki aktörlerin de ilgi alanına giren bir bölge haline gelmiştir. Bu husus ABD ve AB üyesi ülkelerle olan mevcut ilişkiler çerçevesinde önem kazanmıştır. Rusya ve Hazar Havzası'nda mevcut enerji kaynaklarını Avrupa'ya ileten nakil hatlarının Karadeniz'i kullanarak ulaşımı ve enerji arama faaliyetleri çerçevesinde Batılı petrol arama firmalarının Karadeniz'in uluslararası sularındaki yatırımları, bölgeyi dünya siyasetinde önemli bir odak noktası haline getirmiştir [19]. Ayrıca; Asya'da yer alan Türk devletlerinden olan Azerbaycan, Kazakistan ve Türkmenistan'da mevcut petrol ve doğalgaz yataklarının Rusya Federasyonu'nun kontrolüne tabi olmadan Avrupa'ya ulaştırılması için en önemli güzergâh olması, Karadeniz'in ve Türk Boğazları'nın jeostratejik önemini arttırmaktadır. Dünyadaki toplam petrol rezervlerinin yaklaşık %10'u doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %8-10'u Hazar Bölgesi'nde bulunmakta [20], Türkiye dahil Avrupa'nın doğal gaz gereksiniminin önemli bir kısmı Rusya'dan Karadeniz havzasına ulaşan boru hatlarıyla ve Karadeniz üzerinden geçen tankerler ile sağlanmaktadır.

2.2 İSTANBUL BOĞAZI'NIN ÖZELLİKLERİ VE YAPISI

2.2.1 İstanbul Boğazı'nın Jeomorfolojik Yapısı ve Topografyası

İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlayan dünya denizcileri için bilinen en dar ve tehlikeli su yollarından birisidir [20]. Son dönemlerdeki çalışmalar İstanbul Boğazı'nın yaklaşık 7000 sene önce açıldığını ortaya koymaktadır [21]. Topografyanın ana unsuru olan yükseltiler 100-200 metre arasında değişmekte olup, bu yükseltiler boğazın bir plato olarak oluşmasına sebebiyet vermektedir. Boğaz tabanı ise 110 metre derinliğe kadar inmektedir. Bugünkü manzara ve konfigürasyon boğazın 10.000 yaşında olduğunu göstermektedir [22]. Boğaz, orta hattı göz önünde bulundurulduğunda 17 deniz mili uzunluğunda ve 700 metre ile 3,7 kilometre arasında değişen genişliğe sahiptir. İstanbul Boğazı'nın en dar yeri Fatih Sultan Mehmet Köprüsü yakınlarında olup, yaklaşık 0,44 deniz milidir [23]. Jeomorfolojik olarak, İstanbul Boğazı, kara ve deniz arasındaki sınır bölgesinde yer alır. Boğaz boyunca batıdan doğuya doğru, büyük kıvrımlarla farklı derinliklerde su yolları ve küçük koylar yer alır. Topografik olarak, İstanbul Boğazı'nın iki yakası da oldukça engebeli ve dağlık bir yapıya sahiptir. Kuzey yakası, Karadeniz kıyılarından doğan sıraların devamı niteliğindeki Yıldız ve Çamlıca tepelerinden oluşurken, güney yakası, Marmara Denizi'ne doğru uzanan Marmara kıyılarının tepeleriyle sınırlandırılmıştır. Bu da boğazın jeomorfolojik yapısına bağlı olarak, suların derinleşmesi veya sığlaşması gibi faktörlere bağlı olarak seyrin zorlaştığı noktaların oluşmasına sebep olmaktadır [24,25,26].

2.2.2 İstanbul Boğazı'nda Derinlikler, Adalar ve Banklar

İstanbul Boğazı derinliği 30 ila 110 metre arasında değişmekte olup, ortalama derinlik 36 metredir ve en derin yer 110 metre ile Kandilli açıklığındadır [27]. En sığ yeri ise Tophane Şemsipaşa arasında olup 34 metredir [28]. Kız Kulesi, Galatasaray Adası, Kuruçeşme Feneri ve Dikilikaya deniz trafiğini etkileyen adalardır [21]. Kızkulesi etrafı kaya ve bankla çevrili olup, bank ile sahil arası sığlıktır. Kuruçeşme mevkiî açıklığında derinliği 10 metreden az olan banklar mevcuttur. Bebek koyunda bulunan bankın su derinliği 2,7-10 metre aralığındadır. Rumeli Kavağı açıklığında Dikilikaya Bankları mevcuttur. Sarayburnu bankları 1-10 metre arasındadır. Bölgede başka Yeniköy bankı, Koybaşı sığlığı, Büyükliman bankı, Göksu/Anadoluhisarı bankı, Macar Bankı,

Poyraz bankı, İncirköy bankı, Paşabahçe bankı, Baltalimanı bankı, Sarıyer bankı ve Umur bankları mevcuttur [29].

2.3 İSTANBUL BOĞAZI AKINTI REJİMİ

İstanbul Boğazı'nda birbirine ters yönde ilerleyen yüzey ve dip akıntıları mevcuttur. Karadeniz ile Marmara arasında yaklaşık 50 cm düzey farkı mevcuttur. Bu fark dolayısıyla Karadeniz'den İstanbul Boğazı'na doğru yüzey suları akarken, yine aynı su yolları arasındaki yoğunluk farkı dolayısıyla İstanbul Boğazı'ndan Karadeniz'e doğru dipten akış olmaktadır [30]. Karadeniz ve Akdeniz arasındaki su değişimi, iki denizin sularının tuzluluk oranlarının yani yoğunluklarının farklı olmasına bağlı olarak güçlü akıntılar, Karadeniz suyunu, Marmara'ya taşıyan yüzey akıntısı ile, aksi yönde ilerleyen ve Akdeniz'in %0,38 tuzluluktaki sularını Marmara'dan Karadeniz'e taşıyan dip akıntısı oluşturmaktadır. Üstelik buradaki dönüm noktaları kolaylıkla ters akıntılara dönüşebilmektedir [31].

İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde yapılan tuzluluk ve akıntı vektörleri ölçümlerine göre Güneybatı Karadeniz'in yüzey suları, 40-45 m lik homojen bir tabaka halinde Boğaz'a girer ve incelerken Marmara'ya doğru akar [32]. Üstte %0,18-20 tuz içeren ve sıcaklıkları mevsimse atmosferik koşullara bağlı olarak 6-25° değişen Karadeniz suyu bulunmaktadır. Alttaki su kütlelerinin sıcaklığı, bütün yıl boyunca ortalama 14,2°C civarında sabit kalarak tuzluluğu %0,38 dolayında kararlılık göstermektedir. %0,18-20 civarında tuzluluğa sahip Karadeniz sularını, Akdeniz'e doğru taşıyan yüzey akıntısının altında, Marmara ve Karadeniz'in tuz bütçesinin gereği olarak Batı-Doğu doğrultusunda dip akıntısı yer almaktadır [33]. Dip akıntısı su çekimi fazla olan yüklü ve büyük gemilerin seyrini ve manevralarını olumsuz yönde etkilemektedir [22].

Her ne kadar meydana gelen tüm bu deniz kazaları ağırlıklı olarak insan kaynaklı meydana gelmiş olsa da kazaların meydana gelmesinde dolaylı da olsa etken sebepler arasında çevre şartları ve özellikle İstanbul boğazında mevcut değişken ve yüksek akıntı değerleri de yer almaktadır. Seyir emniyetine etki eden esas akıntı, yüzey akıntısıdır. Bu akıntı değerleri ağırlıklı olarak 1-3 knot arasında değişmesine rağmen yer yer 3-4 knot hıza ulaşabilmektedir. Akıntının bu değeri Beylerbeyi Sarayı önlerine gelindiğinde 4-5 knot'a ulaşabilmektedir. Boğazdaki yüzey akıntısı yıldız ve poyraz yönlerinden esen kuvvetli rüzgarlarda 7 knot'a çıkabilmektedir.

2.4 İSTANBUL BOĞAZI HAKİM RÜZGAR YÖNÜ VE ŞİDDETİ

İstanbul Boğazı'nda Eylül ayı başından itibaren fırtına sayıları artmaya başlar ve Ocak ayında en yüksek değere ulaşır. Fırtınalarla birlikte akıntı, su hareketi ve gemilerin seyir zorluğunda değişiklik gözlemlenir [34]. Rüzgarlar, akıntı hızını arttırarak, seyir güvenliğini olumsuz biçimde etkilemektedirler. İstanbul Boğazı'nda rüzgarlar, yönleri, frekansları ve hızları ile seyir güvenliği üzerinde etkili olmaktadır. İstanbul Boğazı'nda kuzey ve kuzeydoğu rüzgârı (Poyraz) hakimdir [35]. Güneybatı rüzgârı (Lodos) ise, zaman zaman kuvvetli fırtınalara sebep olabilmektedir. Lodos rüzgarlarının frekansının artmasıyla, Boğaz'da Karadeniz'den Marmara'ya doğru olan genel akıntı yönü, değişerek Marmara'dan Karadeniz'e doğru olan “orkoz” ters akıntısına neden olmaktadır [21]. Rüzgarların hızları artarak fırtına karakterine ulaştığında, zor bir geçit olan İstanbul Boğazı'nda seyir hayli güçleşmektedir. Rüzgâr, tek başına ya da akıntı ile birleşerek kazaya sebebi olabilmektedir. Kuzeyden güneye inen bir gemi arkadan gelen akıntının etkisi altında kalmaktadır. Ayrıca koylara ve burunlara giren akıntının etkisiyle oluşan anaförlerinde ana akıntı yönüne karışması ile gemilerin ön ve arka kısımları farklı yönde ve şiddette akıntılara maruz kaldıklarından sürüklenme veya savrulma ihtimalleri artmaktadır. Meteorolojik şartların değişmesi akıntı hızını 2–3 misli arttırmaktadır. Boğazlar Deniz Trafîği Tüzüğü'ne göre, gemilerin karaya göre hızı saatte 10 deniz milidir. Buna göre gemiler Boğaz'da akıntı hızına göre hız yapmak zorundadırlar [36]. Bu hızdan daha düşük süratlerde seyreden gemiler boğazda mevcut deniz trafiği akışını bozabilmekte hatta boğaz geçişi yapan diğer gemilere olumsuzluklar yaratabilmekte ve geçişlerini sekteye uğratabilmektedir.

3. İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEMİ TRAFİK YÖNETİMİ

3.1 İSTANBUL BOĞAZI'NDA GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KADAR UYGULANMAKTA OLAN TRAFİK AYRIM DÜZENLERİ

İstanbul Limanı Nizamnamesi adıyla ilk defa 1 Ağustos 1933'te yayınlanan rehberin 17.maddesinde “Karadeniz boğazından Karadeniz’e doğru geçen bütün gemiler boğazın orta hattının iskelesinden yani Rumeli tarafından ve Karadeniz’den gelen gemiler sancağından yani Anadolu tarafından seyredeceklerdir” ibareleri yer almaktaydı [37]. Zaman içerisinde bu husus detaylandırılarak 25 Aralık 1965 tarihi itibarıyla “İstanbul Boğazı’ndan Karadeniz’e doğru geçen gemiler, boğazın seyir elverişli kısmının (Boğaz geçit yolu) Orta hattının Avrupa tarafını; Marmara cihetine doğru geçen gemiler, sözü geçen orta hattın Anadolu tarafını takip ederler. Bu kural, kuzeyde Tarabya burnundan Umurbankı Feneri’ne çekilen hat ile güneyde Kızkulesi’nden Ortaköy Camiine çekilen hat arasındaki sahada uygulanır.” denilmiş ve Karadeniz Boğazı, İstanbul Boğazı olarak tanımlanarak iskele seyri (sol seyir) uygulamasına devam edilmiştir [37].

İskele seyri uygulamasının ana amacı ile ilgili çeşitli görüşler olmakla birlikte genelde kabul gören görüşe göre küçük ve makine gücü az olan o dönem gemilerinin Boğaz akıntıları ile uğraşmadan ters akıntılardan faydalanarak seyirlerini yapmaları görüşü öne çıkmaktaydı. DÇÖY gereği gemiler Boğaza sağ seyir düzeni ile giriş yapmakta, daha sonra yukarıda belirtilen hatlarda sol seyir düzenine geçmekteydiler. Aykırı geçiş sırasında ters bir manevra kaza olmasına neden olabiliyor görüşü ile 21 Nisan 1982’de yayınlanan yeni İstanbul Liman Tüzüğü gereği gemiler DÇÖY’e uygun olarak Boğaz geçit yolu üzerinde tesis edilen seyir elverişli ve orta çizgi ile ayrılmış trafik şeritlerinin sağda olanını kullanacak ve zorunlu olmadıkça orta çizginin soluna geçmeyeceklerdi [37]. Böylece İstanbul Boğazı 1 Mayıs 1982 tarihi itibarıyla sağ seyir düzenine geçmiştir [38]. Özetle, İstanbul Boğazı’ndaki seyir, can, mal ve çevre güvenliğini sağlamak ve deniz trafik düzenlemesini sağlamak amacıyla 1934-1982 yıllarında “Sol Seyir Düzeni”, 1982’den günümüze kadar “Sağ Seyir Düzeni” ve Tüzüğün uygulanmaya başladığı 1994 yılından günümüze kadar “Sağ Seyir Düzeni Rejimi” içinde “Trafik Ayrım Düzenleri” tesis edilmiştir [34].

3.2 İSTANBUL BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ KISIT VE PROSEDÜRLERİ

3.2.1 İSTANBUL BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ KISITLARI

İstanbul Boğazı'nda seyir yapacak gemilerin, emniyet açısından uyması gereken kurallar Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü ve Türk Boğazları Seyir Rehberinde belirtilmiştir [23]. Buna göre;

- Gemilerin geçiş hızı karaya göre saatte 10 mili olacaktır. Yüksek hızlı gemilerin bu hızda dümen dinlememe ile karşı karşıya kalması halinde, bilgi verilmek üzere çatma-çatışmayı önlemeye ve çevreye zarar verici dalga yaratmamak şartıyla bu hız değerleri aşılabılır.
- Aynı istikamette geçiş yapmakta olan gemilerin araçlarında en az 8 gomina bırakması gerekmektedir.
- Herhangi bir nedenle yol kesecek gemiler, ilgili istasyona ve arkalarından gelen gemiye önceden bilgi vermeleri gerekmektedir.
- Zorunlu olmadıkça Boğaz geçişin yapan gemiler önlerinde seyir halindeki gemiyi geçmeyeceklerdir. Geçme durumunda ise ilgili istasyon ve gemi haberdar edilerek, geçişin hızlandıracak uygun süratle çıkılacak, geçiş manevrası mümkünse tek rotadayken yapılacak, geçilmekte olan gemiden neta olana kadar sürat düşülmeyecektir.
- İstanbul Boğazı'nda Vaniköy-Kanlıca arasında önde seyreden gemi geçilmeyecektir.
- Hava çekimi 58 metre üzeri olan gemiler geçemezler. Hava çekimi 54 metre ile 58 metre arasında olan gemilere gerekli görülen sayıda ve güçte römorkör tahsis edilecektir.
- Derin su çekimine sahip gemiler (manevrası kısıtlı gemiler) için yeterli manevra alanı bırakılacaktır ve diğer gemiler trafik ayırım düzeni kesişme ve kavşak noktalarında bu gemilerin yolundan çıkacaktır.
- İstanbul Boğazı'nda üst akıntı şiddeti 4 knot üstüne çıktığında ya da lodos nedeniyle orkoz akıntıları oluştuğunda manevra hızı 10 knot ve daha aşağı olan tehlikeli yük taşıyan gemiler, büyük gemiler ve derin su çekimli gemiler boğaza girmeyecek ve akıntı şiddetinin 4 knot ve altına düşmesini veya orkoz akıntılarının ortadan kalkmasını bekleyeceklerdir. Bunkların dışında kalan gemiler isterlerse geçişlerini TBGTH Merkezinin tonajlarına uygun olarak öngöreceği römorkör/römorkörleri alarak yapabilir.
- İstanbul Boğazı'nda üst akıntı şiddeti 6 knot üstüne çıktığında ya da lodos nedeniyle kuvvetli orkoz akıntıları oluştuğunda hızı ne olursa olsun tehlikeli yük taşıyan gemiler ve derin su

çekimli gemiler İstanbul Boğazı'na girmeyecek ve akıntı şiddetinin 6 knot altına düşmesini veya kuvvetli orkoz akıntılarının ortadan kalkmasını bekleyeceklerdir.

- İstanbul Boğazı'nın herhangi bir bölgesinde görüş mesafesi 2 deniz mil ve daha aşağısına düştüğünde boğazdan geçen gemiler radarlarını sürekli ve iyi resim verecek şekilde açık tutacaklar, iki radarı bulunan gemileri radarının bir tanesini kılavuz kaptanın kullanımına tahsis edecektir.
- Eğer görüş 1 deniz mili ve daha aşağısına düştüğünde ise deniz trafiği uygun görülen tek yöne açık tutulacak ve karşı yöne kapatılacaktır.
- Görüş 1000 yardanın altına düştüğünde ise trafik TBGTH tarafından iki yönlü olarak kapatılacaktır.

3.2.2 İSTANBUL BOĞAZI GEMİ GEÇİŞ PROSEDÜRLERİ

İstanbul Boğazı geçişi yapacak gemiler Seyir Planı-1, Seyir Planı-2, Mevkii Raporu ve Çağırma Noktası raporu olmak üzere dört başlık altında raporlama yapar. Kısaca TÜBRAP adı verilen bu raporlamalarda sırasıyla şu hususlara dikkat edilir:

- **Seyir Planı-1 (SP-1):** Boyları 150-200 metre arası ve su çekimleri 10-15 metre arası olan gemiler boğaza girmeden 24 saat önce, boyları 200-300 metre arası ve su çekimleri 15 metreden büyük gemiler 45 saat önce, daha büyük gemileri se 72 saat önce SP-1 raporlarını verirler. Marmara limanlarından kalkacak tehlikeli yük taşıyan gemilerle, 500 groston ve üzeri gemiler SP-1 raporlarını kalkıştan en az 6 saat önce verirler.
- **Seyir Planı-2 (SP-2):** SP-1 raporunu vermiş ve Teknik olarak gemisinin geçişin uygun olan gemiler, Boğaz girişinden 2 saat önce veya 20 mil kala sözlü olarak SP-2 raporunu verir.
- **Mevkii Raporu:** Boyu 20 metre ve üzeri olan tüm gemiler Boğaz girişlerine 5 mil kala ilgili sektöre Mevkii Raporu verirler.
- **Çağırma Noktası Raporu:** Boğaz geçişin esnasında sektör değişimlerinde sözlü olarak Çağırma Noktası Raporu verilir [23].

3.3 İSTANBUL BOĞAZI'NDA MEYDANA GELEN DENİZ KAZALARI

İstanbul Boğazı'nda kayıtlarda yer aldığı üzere sadece 1953-2002 yılları arasında 461 deniz kazası meydana gelmiş olup, günümüze kadar ise bu sayı artmaya devam etmiştir ve birçok kaza meydana gelmiştir [34]. Meydana gelen kazalar kronolojik olarak kaza tiplerine göre Tablo 3-1'de verildiği gibi özetlenmiştir. Bu kazalar sırasında tonlarca yakıt denize dökülmüş, yüzlerce can kaybı yaşanmış, birkaç yalıya gemi çarpmış maddi hasar meydana gelmiş, kazaya karışan gemilerde maddi ve manevi hasarlar meydana gelmiş, kaza sonrası batan gemi batıklarına takip eden yıllarda başka gemiler çatmış ve yeni kazalar meydana gelmiş ve ciddi çevre kirliliği vuku bulmuştur. İstanbul Boğazı'nda 1960-2023 yılları arasında meydana gelen deniz kazalarına ilişkin detaylar Tablo 3-1'de verilmiş olup, anılan deniz kazalarına ilişkin açıklayıcı bilgiler müteakip maddelerde sıralanmıştır.

Tablo 3-1: İstanbul Boğazı'nda 1960-2023 yılları arasında meydana gelen kazalar [34].

Kaza Tarihi	Kazaya Karışan Gemiler	Kaza Tipi	Kaza Yeri
14 Aralık 1960	Peter Zoranic – World Harmony	Çatışma	Kanlıca
15 Eylül 1964	Norhom – Peter Zoranic	Çatma	Kanlıca
1 Mart 1966	Lutsk- Kransky	Çatışma	Kızkulesi
3 Temmuz 1966	Yeni Galatasaray- Aksaray	Çatışma	-
18 Kasım 1966	Romen Ploesti-Bereket	Çatma	-
1 Temmuz 1970	Ancora	Çatma	-
21 Nisan 1979	Romen Karpat – Türk Kefali	Çatışma	-
15 Kasım 1979	Evriali - Independenta	Çatışma	Haydarpaşa
2 Nisan 1980	Elsa - Moskovosky	Çatışma	-
24 Eylül 1985	Meltem-Xacah	Çatışma	-
29 Ekim 1988	Blue Star-Gaziantep	Çatışma	Ahırkapı
14 Kasım 1991	Rabanion 18-Madonna Lili	Çatışma	Kanlıca
14 Mart 1994	Nasia – Sea Broker	Çatışma	Sarıyer
29 Kasım 1999	Volganests 287	Çatışma	Ahırkapı
21 Temmuz 2015	Majed and Randy	Çatma	Kanlıca
7 Nisan 2018	Vitaspirit	Çatma	Anadoluhisarı

14 Aralık 1960'ta Yunanistan tankeri World Harmony, Yugoslav kuruyük gemisi Peter Zoranic ile çarpışmıştır. İki gemi mürettebatından aralarında kaptanların da olduğu toplam 20 kişi hayatını kaybetmiştir. Çatışma birkaç hafta boyunca söndürülemeyen petrol yangınına yol açmıştır. 01 Mart 1966'da M/T Lutsk and M/T Cransky Oktiabr adlı iki Sovyet gemisi çarpışmış, dökülen binlerce ton petrol boğazı kirletmiştir. Kızkulesi civarında olan bu kazanın etkisi o kadar büyüktü ki Karaköy vapur iskelesi ve buradaki bir vapur yanmıştır. 15 Kasım 1979'da Romen gemisi Independenta ile Yunan Evriali gemisi çarpıştı ve 43 kişi öldü. Independenta tankeri, 238 metre boyunda 94.600 ton petrol taşımakta idi. Dünyanın en büyük petrol dökülmesi kazalarından birisi olan bu olayda 43 denizci hayatını kaybetmiştir. Patlamanın ardından yangın günlerce devam etmiştir. Oluşan sıcaktan dolayı Haydarpaşa garının vitrayları erimiş, sıcaklık dalgası diğer ilçelerden de hissedilmiştir. 29 Ekim 1988'de Ahırkapı'da sıvılaştırılmış amonyak gazı taşıyan Blue Star tankeri Gaziantep gemisi ile çarpışmıştır. Şans eseri rüzgâr ters yönde eserek pek çok kişiyi ölümden kurtarmıştır. Tankerlerin karıştıkları bu kazalar dışında gemilerin sahildeki yahlara çarpması sonucu ölümlere ve maddi hasara sebep olan kazalar da olmuştur. Örneğin, 14 Kasım 1991'de canlı hayvan yüklü Lübnan gemisi Rabanion Kanlıca önlerinde batarak çevre kirliliğine sebep olmuştur. 14 Mart 1994'te Kıbrıs Rum Kesimi bandıralı Nasia petrol tankeri ile Yunan bandıralı Ship Broker adlı kuru yük gemisi çarpışmıştır ve yaklaşık 20.000 ton petrol denize dökülmüştür. Meydana gelen ve yukarıda örnekleri verilen deniz kazaları ağırlıklı olarak insan kaynaklı meydana gelmiş olup, bunun da dolaylı sebebi çevre şartları ve özellikle İstanbul boğazında mevcut değişken ve yüksek akıntı değerleridir.

İstanbul Boğazı'nda meydana gelen kazaların nedenlerine bakacak olursak ilk sırada insan hataları (bilgi ve beceri noksanlığı, dikkatsizlik, yanılğıya düşme, yorgunluk, diyalog ve koordinasyon eksikliği, bıkkınlık, psikolojik bozukluklar, kural dışı hareket etme, uykusuzluk, mesleki yorgunluk, eğitimsizlik vb.) yer almaktadır. Bunun yanında boğazda mevcut olan yoğun trafik (yolcu motorları, şehir hatları taşımacılığı, deniz otobüsleri, amatör tekneler, yat ve kotralar gibi yerel trafik ve Boğazdan geçiş yapan gemiler), boğazda meydana gelen kötü hava koşulları (fırtına, sis, şiddetli rüzgar, sis, kar tipisi, yağmur vb.), boğazın topografyasıyla ve meteorolojik şartlarla oluşan akıntı (yüzey ve dip akıntıları, anafolar (aynalar), girdaplar orkoz; v) yangın (tedbirsizlik, insan hatası), boğazın coğrafi yapısı ve topografik koşulları (keskin ve büyük açılı dönüşler), geçiş yapan gemilerde meydana gelen arızalar (makine, seyir cihazları veya dümen arızası, seyir yardımcılarındaki arızalar) ve diğer sebepler (asma köprüler ve enerji nakil hatları, gemi koşulları, gemilerin seyre yönelik teknik yetersizlikleri, düşük standartlı gemiler, gemilerin

kılavuz kaptan almamaları, bölgenin yeterince tanınmaması, Çatışmayı Önleme Tüzüğü (COLREG 72)'nün eksik uygulanması, ışık kirliliği vb.'dir [39,40].

1938 yılında 4500 geminin geçiş yaptığı İstanbul Boğazı'ndan, denizcilik teknolojisindeki gelişmeler, ham maddeye duyulan ihtiyacın artması, Romanya ve Bulgaristan'ın AB üyeliğine geçmesi, Ukrayna'nın bağımsızlığını kazanması, ticari eksenin Avrupa-ABD'den Orta Asya-Asya-Avrupa eksenine kayması gibi sebeplerle gemi tonajlarında ve boğaz geçişlerinde zaman içinde artışlar olmuştur [27]. Yıllara göre boğazlardan uğraksız geçen gemi sayısı ve tonajlardaki artış Tablo 3.2'de verilmiştir [41]. 1938 yılında Türk Boğazlarından uğraksız olarak geçiş yapan gemi sayısı 4500 iken bu sayı 1996 yılında 49952'ye ulaşmıştır. Bu artış matematiksel olarak %450'ye tekabül etmekte olup bu değer çok büyük bir artışa karşılık gelmektedir. Aynı şekilde boğazlardan geçiş yapan gemilerin tonilatosu 1938 yılında 7500 ton iken bu sayı 1996 yılında 156057 tona ulaşmıştır. Bu da matematiksel olarak %460'a tekabül etmekte olup, gemi sayılarında ve tonilatolarında meydana gelen bu artışların boğazda meydana gelebilecek bir kazada can ve mal emniyetini de olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Tablo 3-2: Boğazlardan 1938-1996 yılları arasında uğraksız geçen gemi sayısı ve tonajlarındaki artış [41].

	1938 Yılı	1960 Yılı	1996 Yılı	Değişim
Türk Boğazlarından Uğraksız Geçiş Yapan Gemi Sayısı	4.500	9.000	49.952	%450
Geçen Gemilerin Tonilatosu	7.500	28.000	156.057	%460

Bunların yanı sıra İstanbul Boğazı'ndan geçmiş olan gemilerin istatistiki bilgilerine esas teşkil eden gemi çeşitleri barç, dökme yük gemisi, çimento taşıyan gemiler, konteyner taşıyan gemiler, feribotlar, canlı hayvan taşıyan gemiler, harp gemileri, yolcu gemileri, frigorifik gemiler, Ro-Ro'lar, çeşitli tankerler, kimyasal yük taşıyan gemiler, gaz tankerleri, römorkörler, araç taşıyan gemiler ve bunların dışında kalan gemilerdir. Bahse konu gemilere havi olan tablolar aşağıda sunulmuştur (Tablo 3-3, Tablo 3-4, Tablo 3-5, Tablo 3-6). Yapılan literatür araştırması kapsamında ulaşılan müteakip tablolar incelendiğinde İstanbul Boğazı'ndan geçen başlıca gemi türlerinin dökme yük gemileri, konteyner taşıyan gemiler, genel kargo gemileri ve çeşitli türde olan tankerler olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelmesi muhtemel bir deniz kazasında can ve mala en fazla zarar vereceği düşünülen gemiler geçmiş yıllarda meydana gelen deniz kazaları da

hesaba katıldığında bu gemiler olacağından yapılan simülatör çalışmalarında bahse konu türdeki gemiler simülatör uygulamasına dahil edilmiştir.

Köprüüstü, geminin sevk ve idaresinin yapıldığı kısım olup, geminin gideceği rotanın haritası, rota üzerindeki hava olaylarının takip edildiği ve gözlemlendiği bölümdür. Köprü üstünde gyro pusula, radar, ECDIS, dümen, makine telgraf kolları, çeşitli muhabere ekipmanları ve gemi düdüğü gibi geminin ana kumanda ve seyir ekipmanları ve yardımcılarının yanı sıra dış aydınlatma kontrol panelleri, fener kontrol panelleri acil durum alarm panelleri, kameralar ve kamera kumandaları gibi diğer kumanda panelleri de bulunmaktadır. Tez yazım aşamasında Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Transas 5000 marka/model Gemi Köprüüstü Simülatörleri kullanılmış ve yapılan çalışmalara ait detaylı bilgiler 4.2 Gemi Köprüüstü Simülatörü kısmında anlatılmıştır.

Tablo 3-3: İstanbul Boğazı'ndan 2019 yılında geçen gemi istatistikleri [8].

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Barç	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	4	0	9
Dökme Yük Gemisi	689	650	744	635	645	590	817	824	795	876	747	799	8.811
Çimento Gemisi	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	2	0	9
Konteyner Gemisi	217	200	231	234	219	225	212	221	207	218	222	236	2.642
Feribot	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
Genel Kargo Gemisi	1.519	1.301	1.616	1.587	1.600	1.461	1.519	1.592	1.564	1.781	1.449	1.648	18.637
Canlı Hayvan Taşıyan Gemi	34	33	39	48	52	50	59	43	31	43	46	52	530
Savaş Gemisi	9	9	22	19	10	0	33	0	14	21	21	20	178
Yolcu Gemisi	24	24	26	23	30	28	21	21	23	18	9	3	250
Frigorifik Gemi	1	2	1	10	10	6	1	4	2	8	6	8	59
Ro-ro Gemi	17	12	21	18	25	22	20	20	22	29	31	29	266
Türlü Belirtilmemiş Tanker	540	474	531	460	517	481	538	473	445	506	436	533	5.934
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker	197	184	204	184	185	200	218	216	218	218	210	228	2.462
Gaz Tankeri	59	59	70	46	58	36	39	36	45	45	31	37	561
Römorkör	19	26	35	28	34	21	28	22	14	12	19	12	270
Araç Taşıyan Gemi	7	10	8	9	6	8	8	10	13	10	12	12	113
Diğer	23	25	33	29	16	40	29	46	27	43	32	36	379
Toplam	3.355	3.009	3.583	3.330	3.407	3.170	3.545	3.528	3.425	3.830	3.277	3.653	41.112

Tablo 3-4: İstanbul Boğazı'ndan 2020 yılında geçen gemi istatistikleri [8].

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Barç	1	0	0	0	0	0	6	0	0	0	4	4	15
Dökme Yük Gemisi	725	706	735	776	673	531	691	788	749	775	738	705	8.592
Çimento Gemisi	0	0	2	0	1	1	2	4	2	2	1	3	18
Konteyner Gemisi	242	223	203	208	236	193	201	208	197	227	237	258	2.633
Feribot	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	1
Genel Kargo Gemisi	1.521	1.369	1.333	1.571	1.413	1.243	1.299	1.394	1.435	1.480	1.409	1.397	16.864
Canlı Hayvan Taşıyan Gemi	36	30	47	49	56	44	51	45	44	52	56	45	555
Savaş Gemisi	21	12	14	14	10	21	21	12	15	24	21	20	205
Yolcu Gemisi	2	4	11	11	3	0	0	1	13	2	12	15	74
Frigorifik Gemi	1	2	1	7	11	7	1	3	2	3	8	6	52
Ro-ro Gemi	23	16	16	13	18	20	20	10	16	24	25	21	222
Türü Belirtilmemiş Tanker	530	439	498	482	459	378	424	391	402	428	397	424	5.252
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker	244	242	212	245	236	237	219	185	176	205	236	216	2.653
Gaz Tankeri	42	37	43	41	57	44	56	41	33	48	44	44	530
Römorkör	6	9	22	19	12	14	11	16	17	23	7	19	175
Araç Taşıyan Gemi	12	7	12	6	7	4	7	8	4	5	9	6	87
Diğer	32	29	22	38	32	49	40	35	45	42	51	61	476
Toplam	3.438	3.125	3.171	3.480	3.224	2.786	3.049	3.141	3.150	3.340	3.255	3.245	38.404

Tablo 3-5: İstanbul Boğazı'ndan 2021 yılında geçen gemi istatistikleri [8].

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Barç	0	0	0	2	2	0	3	3	0	0	1	2	13
Dökme Yük Gemisi	660	652	701	646	654	649	679	852	831	835	765	760	8.684
Çimento Gemisi	3	4	6	4	2	4	4	4	5	3	4	3	46
Konteyner Gemisi	239	222	255	225	245	227	214	205	215	219	221	248	2.735
Feribot	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
Genel Kargo Gemisi	1.379	1.266	1.433	1.585	1.492	1.426	1.325	1.488	1.366	1.371	1.386	1.374	16.891
Canlı Hayvan Taşıyan Gemi	43	45	50	62	55	51	54	37	45	46	31	47	566
Savaş Gemisi	6	14	22	13	14	17	25	19	12	18	17	13	190
Yolcu Gemisi	12	10	12	14	19	22	19	31	21	26	16	15	217
Frigorifik Gemi	2	1	2	10	8	8	1	0	0	3	7	6	48
Ro-ro Gemi	21	16	18	15	33	29	26	22	24	24	18	22	268
Türü Belirtilmemiş Tanker	405	391	493	443	462	427	427	436	405	414	384	398	5.085
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker	211	200	224	190	195	209	217	187	197	271	303	297	2.701
Gaz Tankeri	45	40	50	32	33	44	42	38	39	32	29	38	462
Römorkör	12	11	19	21	12	25	16	20	19	11	20	28	214
Araç Taşıyan Gemi	2	3	7	2	0	0	0	2	0	0	0	2	18
Diğer	39	34	38	59	40	32	29	31	24	39	23	23	411
Toplam	3.079	2.909	3.330	3.323	3.266	3.170	3.081	3.377	3.203	3.312	3.225	3.276	38.551

Tablo 3-6: İstanbul Boğazı'ndan 2022 yılında geçen gemi istatistikleri [8].

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Barç	0	0	2	0	0	0	3	9	5	5	4	6	34
Dökme Yük Gemisi	725	761	489	439	469	477	507	583	621	661	690	654	7.076
Çimento Gemisi	1	4	1	2	7	3	3	2	5	4	3	3	38
Konteyner Gemisi	227	227	183	187	198	180	180	177	190	208	227	242	2.426
Feribot	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Genel Kargo Gemisi	1.262	1.251	1.122	1.227	1.322	1.321	1.282	1.286	1.359	1.381	1.318	1.240	15.371
Canlı Hayvan Taşıyan Gemi	35	46	35	48	48	49	39	37	36	37	41	40	491
Savaş Gemisi	12	12	1	0	0	1	0	0	0	2	0	2	30
Yolcu Gemisi	14	15	3	0	0	2	8	10	13	11	0	9	85
Frigorifik Gemi	4	2	0	0	0	2	1	1	0	2	1	2	15
Ro-ro Gemi	20	14	15	22	27	19	23	24	24	33	26	27	274
Türü Belirtilmemiş Tanker	438	428	412	377	486	482	503	467	445	451	435	523	5.447
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker	270	252	201	223	218	188	206	216	275	243	251	239	2.782
Gaz Tankeri	47	42	29	32	35	32	29	27	36	38	32	45	424
Römorkör	17	14	22	16	15	21	23	17	19	24	14	32	234
Araç Taşıyan Gemi	3	6	9	15	5	2	7	8	3	5	2	2	67
Diğer	19	20	26	36	28	35	30	24	39	32	42	20	351
Toplam	3.094	3.094	2.550	2.624	2.858	2.815	2.844	2.888	3.070	3.137	3.086	3.086	35.146

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), 1948 yılında Birleşmiş Milletler denizcilik konferansında kurulması öngörülen ve on yıl sonra Hükûmetler Arası Deniz Danışma Örgütü (IMCO) adıyla kurulan ve 1982 yılına kadar bu isimle [42], Birleşmiş Milletler bünyesinde bir "danışmanlık" birimi olarak faaliyet gösteren ajanstır [43]. IMO'nun faaliyet alanları; uluslararası denizlerde seyir güvenliği yönünden gerekli teknik önlemleri almak ve buna ilişkin uluslararası normların düzenlenmesini teşvik etmek; deniz işletmeciliğinin verimli olmasını sağlamak üzere, en etkili kuralların kabulünü teşvik etmek; denizlerin gemiler tarafından kirletilmesinin önlenmesine yönelik olarak, ülkeler arasında iş birliği yapılmasını sağlamaktır [43]. Örgütün İngilizce, Fransızca, İspanyolca, Arapça, Çince ve Rusça dillerinde yayınları bulunmakta olup, sadece İngilizce olarak 200'ün üzerinde basılı yayımı bulunmaktadır [42].

Türk boğazları geçiş rejimi Türk Boğazları Seyir Rehberinin yanısıra Uluslararası Denizcilik Örgütü yayınları arasında yer alan "Ships' Routeing" isimli yayında da yer almaktadır. Yayın, IMO tarafından benimsenen rota ölçütlerinin tasarımını, geliştirilmesini, haritalandırma sunumunu ve kullanımını standartlaştırmayı amaçlayan gemi rotalama hakkında genel hükümleri içermektedir. Hükümler, gemi rotalamanın amacının "birleşen bölgelerde ve trafik yoğunluğunun yüksek olduğu veya deniz trafiğinin sınırlı alan, seyir engelleri, sınırlı derinlikler veya olumsuz meteorolojik koşullar nedeniyle kısıtlandığı bölgelerde seyir güvenliğini iyileştirmek" olduğunu belirtmektedir [44]. Ships' Routeing içerisinde gemilerin izlemesi gereken trafik düzeni ile birlikte gemileri vermesi gereken rapor ve seyir bilgileri, pilot hizmeti ile ilgili hususlar, gündüz geçişleri kısıtları, herhangi bir arızanın meydana gelmesi durumunda yapılması gereken yedekleme ile ilgili hususlar ile demirleme usulleri yer almaktadır.

Bir takım kurum-kuruluşlar, seyir neşriyatlarında TAD ele alınsa da, yöntemsel yaklaşımda halihazırda denizcilik pratiğini ele alan bir yaklaşım konusunda eksiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Denizcilik literatüründe sektöre özgü çözüm kolaylığı, uygulanabilirliği ve özelleştirilebilme yetisi sayesinde hibrit yöntemlerin son yıllarda yoğun bir şekilde kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu tez çalışmasında buradan hareketle İki Boyutlu Potansiyel Akım Teorisi ve Simülatör Tabanlı Analiz yaklaşımları entegre edilmiş elde edilen bulgular Lagrange Polinomları kullanılarak Eğri Uydurma yöntemlerine başvurularak dinamik bir TAD hattı oluşturulması için hibrit bir yaklaşım ortaya atılmıştır. Potansiyel Akım Teorisi ile İstanbul Boğazı akıntı modeli/basınç haritası elde edilmiş, elde edilen akıntı modeli/basınç haritası, simülatör

üzerinde oluşturulan senaryo paketi üzerinde gemilerin İstanbul Boğazı geçişi sırasında karşılaştıkları diğer durumlar/dinamik değişkenlerle entegre edilmiştir. Simülasyonlarda bu değerlere başvurularak gemilerin seyir riskleri elde edilmiştir. Seyir riskleri nezdinde riskli noktalar belirlenerek, bu riskli noktalar üzerinde yer alan seperasyon hattı araştırmaya konu olmuştur. Araştırmaya konu olan seperasyon hattında gemiye özgü TAD önerisi için simülasyonlar üzerinden gemilerin manevra yetisini gösteren zamana bağlı gemi enlem-boylam bilgileri elde edilmiş ve elde edilen veriler Lagrange Polinomları kullanılarak Eğri Uydurma yaklaşımı ile modellenmiştir. Burada bahsi geçen yöntemsel yaklaşımın detaylı açıklamasına bu başlık altında yer verilmiştir.

4.1 POTANSİYEL AKIM TEORİSİ

Potansiyel akım teorisi su yollarındaki basınç dağılımlarının tespit edilmesi için kullanılabilmektedir. Bu teoriye göre potansiyel fonksiyonu (φ) ve akım fonksiyonu (ψ) eşitlik 4.1 de verildiği üzere kompleks potansiyel ($F(z)$) üzerinden hesaplanmaktadır. Su ortamındaki akış hızı akım fonksiyonu üzerinden eşitlik 4.2’de verildiği üzere elde edilmektedir. Suda gözlemlenen genel basınç dağılımı için ise Bernoulli Denklemi uygulanarak eşitlik 4.3 elde edilmektedir [17].

$$F(z) = \varphi + i\psi \quad (4.1)$$

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} = \nabla \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}\vec{j} = \frac{\partial \psi}{\partial y}\vec{i} - \frac{\partial \psi}{\partial x}\vec{j} \quad (4.2)$$

$$|\vec{V}|^2 = u^2 + v^2 = p_1 + \frac{p}{2}|\vec{V}_1|^2 = p_2 + \frac{p}{2}|\vec{V}_2|^2 \Rightarrow p_2 = p_0 \quad (4.3)$$

Bernoulli Denkleminde, basınç $P_1 = P_\infty$ ve $V_1 = U_\infty$. Denizel ortamda birden fazla akış olması durumunda ise bu akışlar Süperpozisyon Teoremi ile eşitlik 4.4’de verildiği şekliyle ifade edilir.

$$F(z) = F_1(z) + F_2(z) + F_3(z) + \dots + F_n(z) \quad (4.4)$$

Sudaki bir geminin manevrasını ve dengesini etkileyecek etrafındaki kuvvetler ise eşitlik 4.5’de ki gibi özetlenir.

$$\vec{F} = \iint p \vec{n} d\sigma = \iint (p_0 + \frac{p}{2}(|V_2|^2 - |V_1|^2)) \vec{n} d\sigma \quad (4.5)$$

4.2 GEMİ KÖPRÜÜSTÜ SİMÜLATÖRÜ

Simülasyonlar genellikle sistemin durumlarının tahmin edilmesi (elimizde olmayan verilerin tahmini) veya zaten sahip olduğumuz verilerin anlaşılması için kullanılır. Gemi hareketi durumunda, simülasyon, istenen serbestlik derecelerindeki hareketlerin ilerlemesini bulmak için hidrodinamik, denizcilik ve manevra teorilerini hesaba katar. Bu teorilere dayalı matematiksel denklemler, simülasyonun temelini oluşturur. Ayrıca, zamanla değişen süreçler olarak çevresel yükleri de hesaba katar. Rüzgar, dalga ve akıntıdan gelen yükler, her zaman adımında matematiksel denklemlere beslenir ve sonuç kuvvetini etkiler. Bu kuvvet, geminin hareketinin yönünü ve büyüklüğünü etkiler. Bununla birlikte, geminin hareketi, örneğin dümen ve makine insan vasıtasıyla kontrol edilebilir. Bu tür kontroller, simülasyonun hedefleri ve amaçlarına bağlı olarak önceden tanımlanmış durumlar olarak da belirlenebilir [45].

Başarılı simülasyon çalışmaları, sadece sayıları hesaplamaktan daha fazlasını yapar. Bu sayılar üzerinden çıkarımlar yapmak için çeşitli tekniklerden yararlanırlar. Simülasyonlar, yalnızca matematiksel ve teorik olmayan motivasyonlara dayanan hesaplama tekniklerini yaratıcı bir şekilde kullanır. Bu nedenle, bir bilgisayarda gerçekleştirilebilen basit hesaplamalardan farklı olarak, simülasyonların sonuçları otomatik olarak güvenilir değildir. Hangi simülasyon sonuçlarının güvenilir olduğunu ve hangilerinin olmadığını belirlemek için büyük çaba ve uzmanlık gerekmektedir [46].

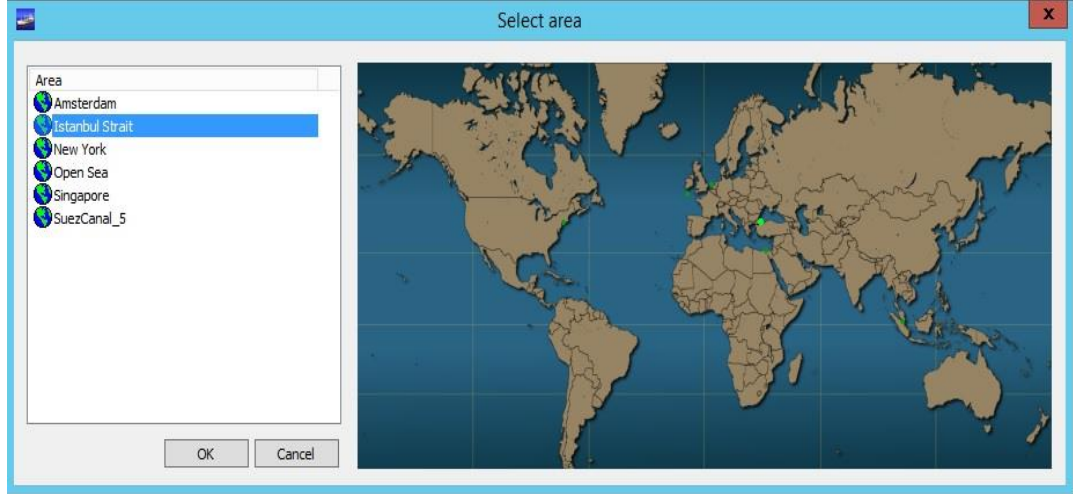
Bir bilgisayar simülasyonu genellikle masaüstü bilgisayarda çalıştırılır ve hesaplama tamamlandıktan sonra sonuçlar, genellikle grafikler üzerinde işlenir ve görselleştirilir. Öte yandan, bir simülatör gerçek zamanlı bir bilgisayar simülasyonudur ve gerçeklik hissi verir [47].

Sıvılarda basınç ve hız arasındaki ilişki Bernoulli Denklemi uyarınca ters ilişki olacak şekilde ifade edilir. Potansiyel akım teorisi ile önceki bölümde verilen eşitliklerle hesaplanan basınç dağılımlarından akıntı hızına geçiş yapıldıktan sonra, elde edilen değerler Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Transas 5000 marka/model Gemi Köprüüstü Simülatörlerinde işlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Denizcilik Fakültesi Köprüüstü Gemi Simülatörü

Bu işlem öncesi öncelikle simülatör üzerinde Şekil 2’de verildiği üzere uygulama alanı İstanbul Boğazı olarak seçilerek, senaryo paketi hazırlanmıştır.



Şekil 2: Simülatör uygulaması yapılan test alanı

Konu İstanbul Boğazı çalışma alanı seçildikten sonra simülatör üzerinde senaryonun başlayacağı ve biteceği (gemilerin sisteme atılacağı) harita açılarak, bu harita üzerinde (Şekil 3) önceden tespit edilen noktalar başlangıç olacak şekilde gemi modeli ataması yapılmıştır.



Şekil 3: Üzerinde çalışılan İstanbul Boğazı seyir haritası

Simülâtör çalışması öncesinde özellikle büyük boyutlu gemilerin manevrasının zor olduğu ve ağır akıntı ve hava şartları altında bu gemilerin geçişlerinde problem yaşanabildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple simülâtör çalışması yapılırken özellikle büyük boyutlarda gemi modelleri seçilerek, bu gemiler üzerinde simülâtör çalışması tatbik edilmiştir. Simülâtör çalışması yapılırken gemi geçişlerine etki eden etkenlerden biri olan akıntı değeri 1 ile 3 knot arası değerleri seçilmiştir. Bundaki en önemli sebep Türk Boğazları Seyir Rehberinde yer alan ve gemi geçişlerine esas teşkil eden 4 knot akıntı değeri kıstas değeri olarak çalışmanın yapılmış olmasıdır. Simülâtörde bu kapsamda seçilen gemi modelleri ve özet bilgileri Şekil 4, 5, 6 ve 7’de verildiği gibidir.



Şekil 4: Simülâtör çalışmasında kullanılan gemi modeli 1



Şekil 5: Simülör çalışmasında kullanılan gemi modeli 2



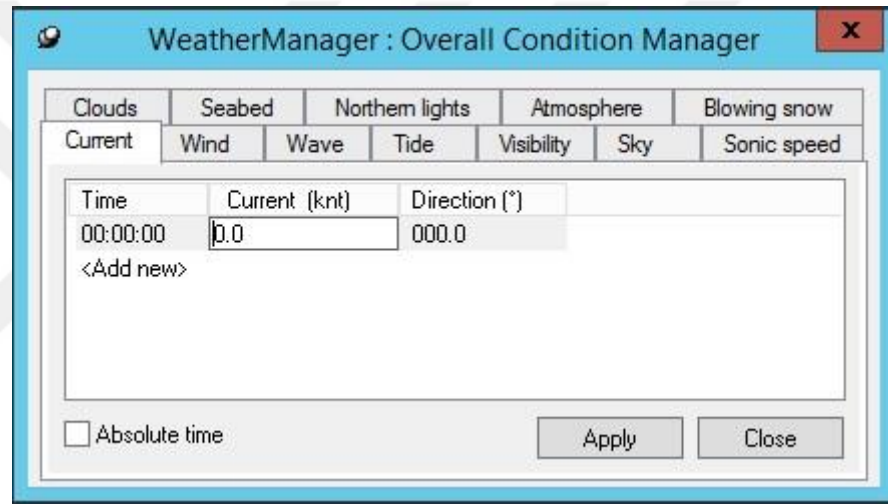
Şekil 6: Simülör çalışmasında kullanılan gemi modeli 3



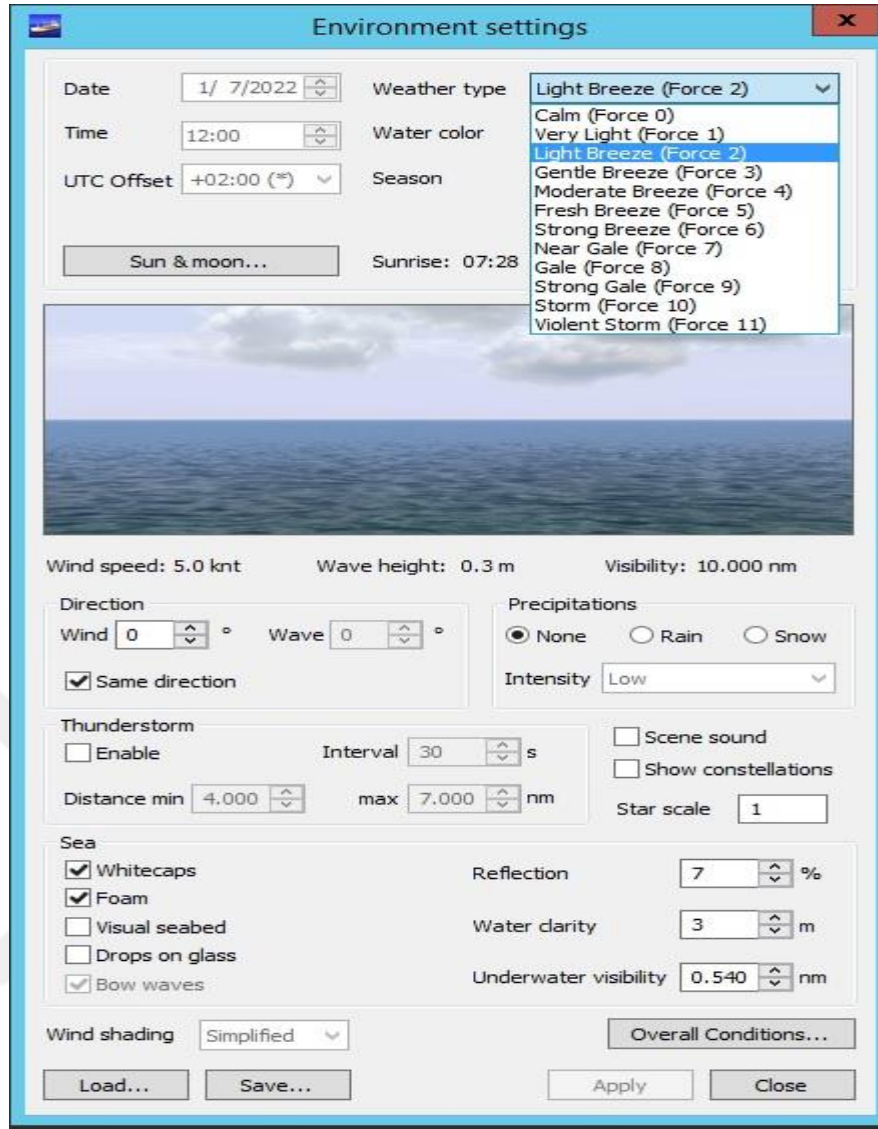
Şekil 7: Simülör çalışmasında kullanılan gemi modeli 4

Uygulama esnasında bu gemi modelleri arasından VLCC tipli gemi seçilerek, bu gemiyle gerçekleştirilen seyir hem balastlı hem de tam yüklü olarak farklı su çekimine sahip gemi olacak şekilde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Böylece akıntının yüklü ve boş gemi üzerindeki etkisi de dikkate alınmaya çalışılmıştır.

İstanbul Boğazı'ndan geçen gemilerin yaşadığı durumu benzer bir şekilde tanımlayabilmek adına Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2021 yılına ait İstanbul Boğazı üzerindeki istasyonlardan elde edilen hava durumu, sıcaklık, rüzgâr parametreleri elde edilmiştir. Bu veriler simülatör üzerinde Şekil 8 ve 9'da detayları verilen ara yüzler üzerinde güncellenmiştir. Burada ayrıca potansiyel akım teorisi ile elde edilen akıntı değerleri de güncellenerek, nihai simülatör senaryosu elde edilmiştir.



Şekil 8: Akıntı, rüzgâr, dalga yüksekliği gibi çevresel dinamiklerin güncellendiği arayüz

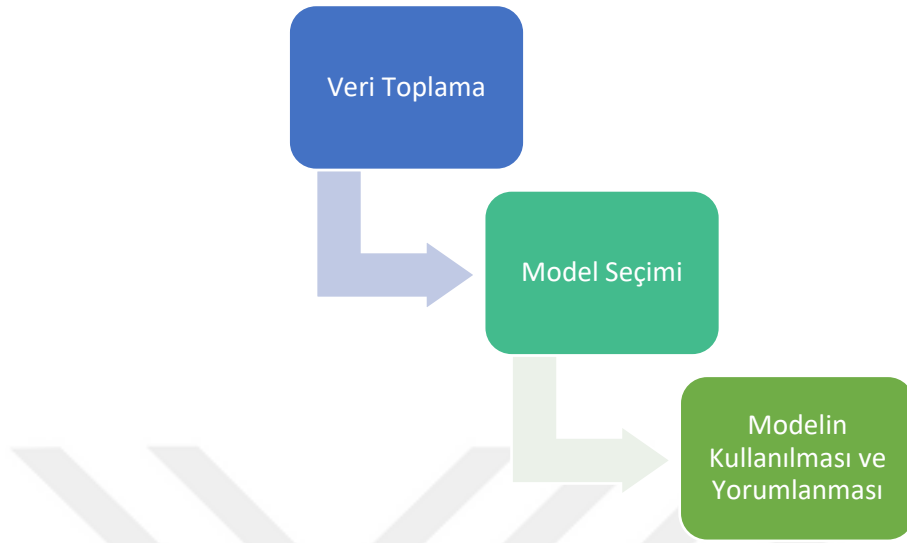


Şekil 9: Simülör senaryo paketlerinde kullanılan hava parametreleri listesi

4.3 TRAFİK AYRIM DÜZENİ BİLEŞENLERİNİN EĞRİ UYDURMA YÖNTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ

Tezin önceki kısımlarında potansiyel akım teorisi ile akıntı analizi gerçekleştirilmiş, takiben simülör çalışması nezdinde akıntı analizi bulguları, simülör de mevcut gemi modelleri üzerinde uygulamaya alınmıştır. Bu esnada gemi manevra karakteristikleri göz önünde bulundurulmuş gemi seyir riskleri ortaya çıkartılmıştır. Simülör çalışması bulguları nezdinde tez kapsamında önerilen gemiye özgü seperasyon hattı sınırlarının tayini için gemilerin manevra karakteristikleri göz önünde bulundurularak eğri uydurma yöntemine başvurularak, en uygun emniyetli seyir hattı tayin edilmiştir. Eğri uydurma yöntemi, matematiksel modellerin veri noktalarına en iyi şekilde uygun hale getirilmesini sağlayan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntem, veri noktaları arasındaki

ilişkileri anlamak, gelecekteki değerleri tahmin etmek veya verileri basitleştirmek için kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında takip edilen eğri uydurma yönteminin aşamaları Şekil 10'da verildiği gibidir:



Şekil 10: Eğri uydurma yönteminin aşamaları

Çalışmanın veri toplama safhasında, analiz edilmek istenen veri seti toplanmaktadır. Bu tez kapsamında simülatör çalışması sırasında kullanılan gemilerin zamana bağlı olarak bulundukları enlem-boylam bilgileri bu amaçla kayıt altına alınmıştır. Çalışmanın diğer bir safhası model seçiminde, eğri uydurma yöntemi için uygun bir matematiksel model seçmek önemlidir. Model seçiminde veri seti yapısı ve çalışmanın amacı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışma da mevcut seperasyon hattı modellerinin doğrusal modellere benzemesi ve doğrusal modellerin dinamik ortamda geminin manevrası sırasında hem yanal hem de ileri-geri yönlü hareketlerini ihmal etmesi ve bu durumda oluşan hattın gemi manevra pratiğine tam olarak uymaması nedeniyle, manevra pratiğine en uygun ve dinamik çözüm üretmeye yardımcı olan polinom ile eğri uydurma yaklaşımı önerilmektedir. Bu noktada literatürde sıklıkla kullanılan Lagrange polinomları kullanılmıştır. Son aşama olan modelin kullanımı ve yorumlanmasında eğri uydurma yöntemiyle elde edilen modeli kullanarak gelecekteki değerleri tahmin edebilir veya veri setini analiz edebiliriz. Modelimizi kullanarak, tahminler yapabilir, sonuçları yorumlayabilir ve kararlar alabiliriz. Bu aşamada, modelin sınırlamalarını, veri setinin özelliklerini ve hata paylarını dikkate almak önemlidir. Buradan hareketle bu tez çalışmasında gemiye özgü oluşturulacak dinamik trafik seperasyon hattı sınırlarını n simülatörden elde edilen veri sayısı olmak üzere gösterecek matematiksel eşitlik literatürde yer verilen eşitliklerden faydalanılarak Lagrange polinomları ile şöyle ifade edilmektedir:

$$f(x) = 1/3L_{OA} + \sum_{k=0}^N L_k f_k \quad (4.1)$$

$$L_k = \frac{(x-x_0)(x-x_1)....(x-x_{k-1})(x-x_{k+1}).....(x-x_N)}{(x_k-x_0)(x_k-x_1)....(x_k-x_{k-1})(x_k-x_{k+1}).....(x_k-x_N)} = \prod_{j=0, j \neq k}^N \frac{x-x_j}{x_k-x_j} \quad (4.2)$$

$$f(k) = a_0 + a_1k + a_2k^2 +a_nk^n \quad (4.3)$$

Literatürde yer alan genel Lagrangre polinom eşitliğine önceki bölümlerde yer verilen gemi boyunun 1/3 öncesinde manevra komutu verme gerekliliği dolayısıyla ekleme yapılmıştır. Burada $1/3 L_{OA}$ ifadesi böylece gemi tam boyunun 1/3'ünü ifade etmektedir.

5. BULGULAR

Yapılan literatür taramasında mevcut akıntı modellerinin başarılı bir şekilde matematiksel olarak akıntıları ifade edebildikleri gözlemlenmiştir. Pratikte uygulanmakta olan TAD'ler genelde basit şekilde oluşturulmakta, bu esnada akıntı ve çevresel dinamikler göz ardı edilmektedir. Ancak meydana gelen kazalar ve literatürde yer alan çalışmalar göstermektedir ki TAD'ların daha detaylı çalışmalarla akıntı ve çevresel değişkenleri de içerecek şekilde güncellenmesi ile birçok akıntı kaynaklı kaza önlenilecektir. Dolayısıyla statik bir TAD yerine dinamik bir TAD kullanımı daha yerinde olacaktır. Buradan hareketle dinamik TAD önerisi için Potansiyel Akım Teorisi ile İstanbul Boğazı'nda kazaların en sık meydana geldiği alan seçilerek akıntı modellemesi yapılmıştır.

Yapılan çalışmada odak sahamız Beykoz-Anadolukavağı arası olacak şekilde seçilmiştir. Bebek-Kandilli tarafında da deniz kazaları yoğunluktadır ancak Beykoz-Anadolukavağı arasında iki bölgede yoğunluk mevcuttur. Bahse konu bölgede kaza sayılarının fazla olmasının nedeni bölgede mevcut akıntıdır ki bu akıntı o bölgede Bebek Kandilli tarafına istinaden çok daha yoğundur. Bu çalışma parça parça genişletildiği takdirde tüm boğaza enjekte edilebilir. Ayrıca odak noktamızı o bölge olarak tayin etmemizin diğer bir sebebi de daha önce potansiyel akım teorisi kullanılarak yapılan çalışmalarda o bölge seçilerek çalışılmış olup, biz de o bölgeyi esas alarak simülatör çalışmalarımızı icra ettik.

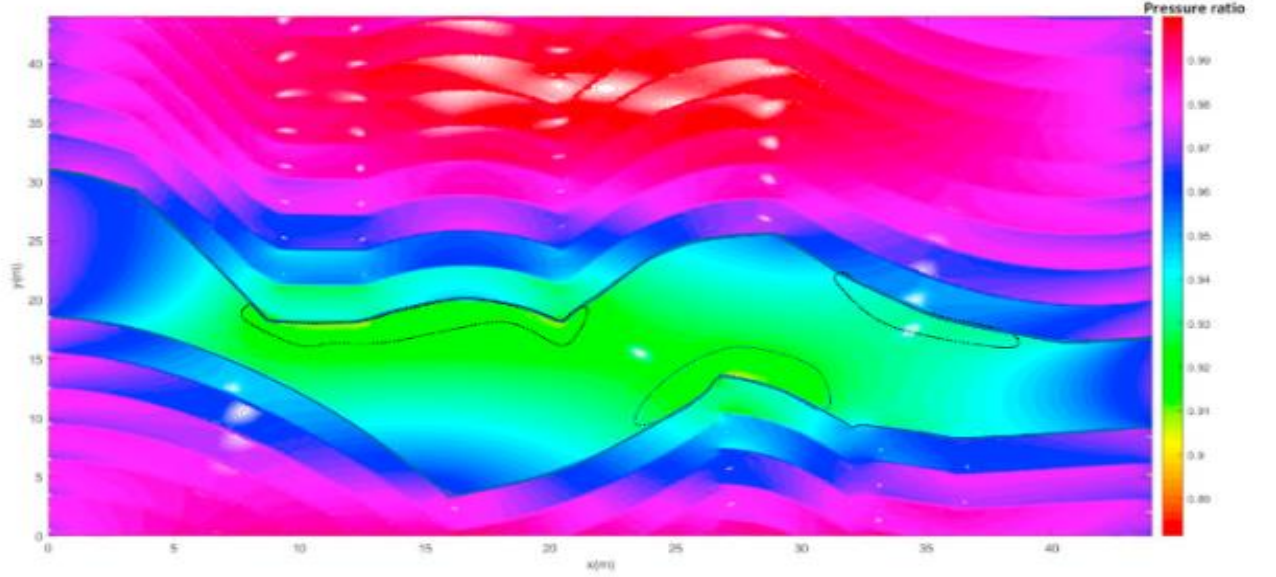
Yıllara sâri olarak gemilerin boyutları ve dolayısıyla tonajları arttığı için boğazlardan geçiş yapan gemi sayılarında azalma olsa da özellikle 2019 yılından sonra meydana gelen deniz kazalarının sayısında artış gözlemlenmiştir ve bu artış Umuryeri bölgesinde yoğunlaşmaktadır [16].



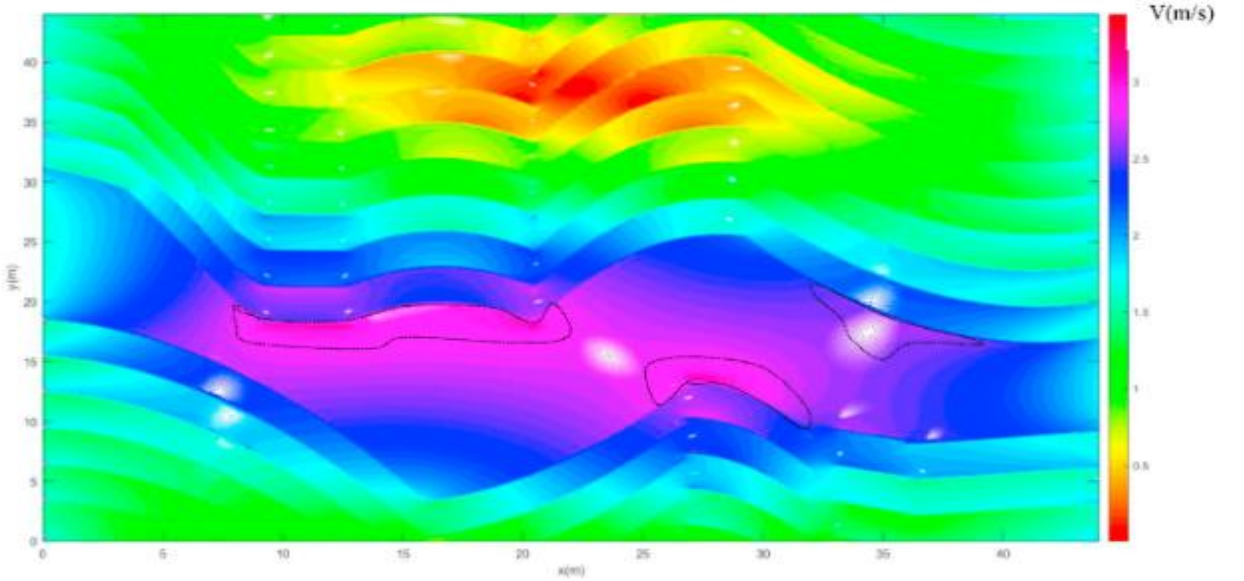
Şekil 11: Deniz kazalarının en sık gerçekleştiği ve potansiyel akım teorisi ve simülasyon çalışmasının uygulandığı alan

Tez kapsamında yapılan çalışmanın ilk kısmını literatürde yer alan matematiksel modellerin incelenmesi oluşturmuştur. Bu tez konusuna en yakın çalışma Süner ve Baş (2022) tarafından yapılmış olup, konu çalışma da Potansiyel Akım Teorisi ile İstanbul Boğazı akıntı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model, CFD modeli kurularak karşılaştırılmış ve Potansiyel Akım Teorisi ile CFD modeli sonuçları benzer sonuçlar üretmiştir. Buradan hareketle başvuru

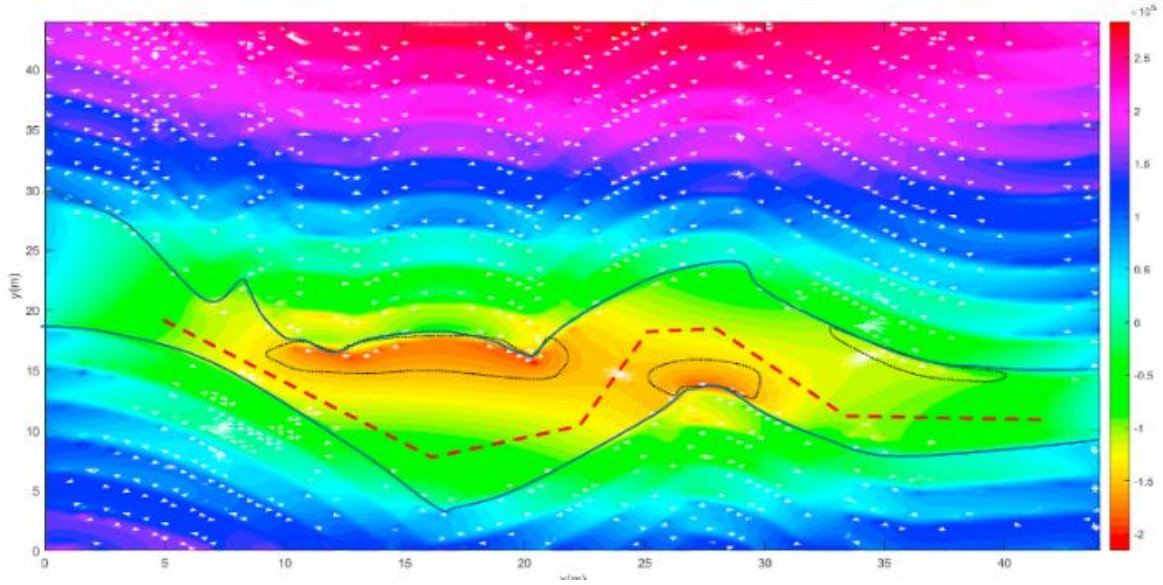
bu çalışma içinde başvurulmuş potansiyel akım teorisinde İstanbul Boğazı'nın seçilen alanı için oluşan basınç ve hız dağılımları sırasıyla Şekil 12 ve Şekil 13'deki gibi elde edilmiştir [17].



Şekil 12: Potansiyel akım teorisi ile elde edilen İstanbul Boğazı seçilen alanı basınç dağılımı

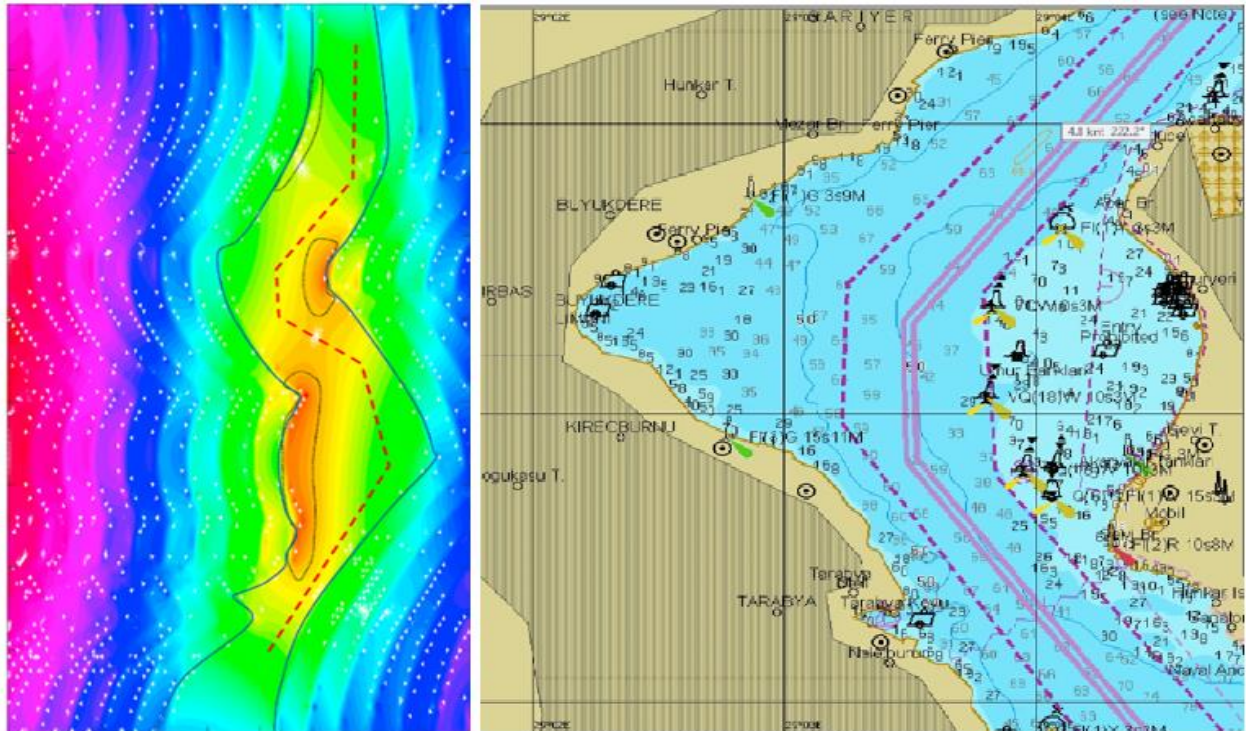


Şekil 13: Potansiyel akım teorisi ile elde edilen İstanbul Boğazı seçilen alanı hız dağılımı



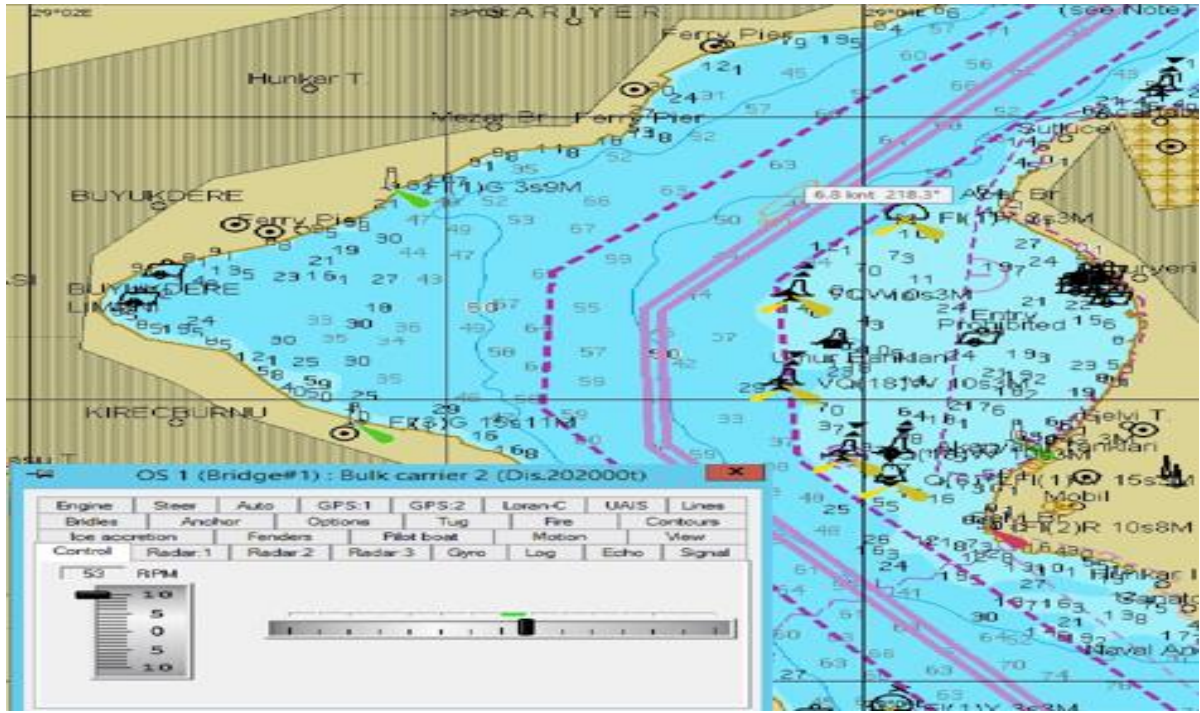
Şekil 14: Potansiyel akım teorisi ile elde edilen İstanbul Boğazı seçilen alanı nötr basınç hattı

Şekil 14'te yer verilen potansiyel akım teorisi özetini içeren nötr basınç hattında, kırmızı renk kodu ile gösterilen alanlar yüksek akıntı değerleri, seyir açısından tehlikeli noktaları ifade etmektedir [17]. Şekil 15 üzerinde nötr basınç hattı ve İstanbul Boğazı haritasında paralel noktalar için yan yana verilen görsellerden de anlaşılacağı üzere, gemilerin keskin manevra yapması gereken Büyükdere-Kireçburnu seperasyon hattı civarında ciddi akıntı değerleri söz konusudur.

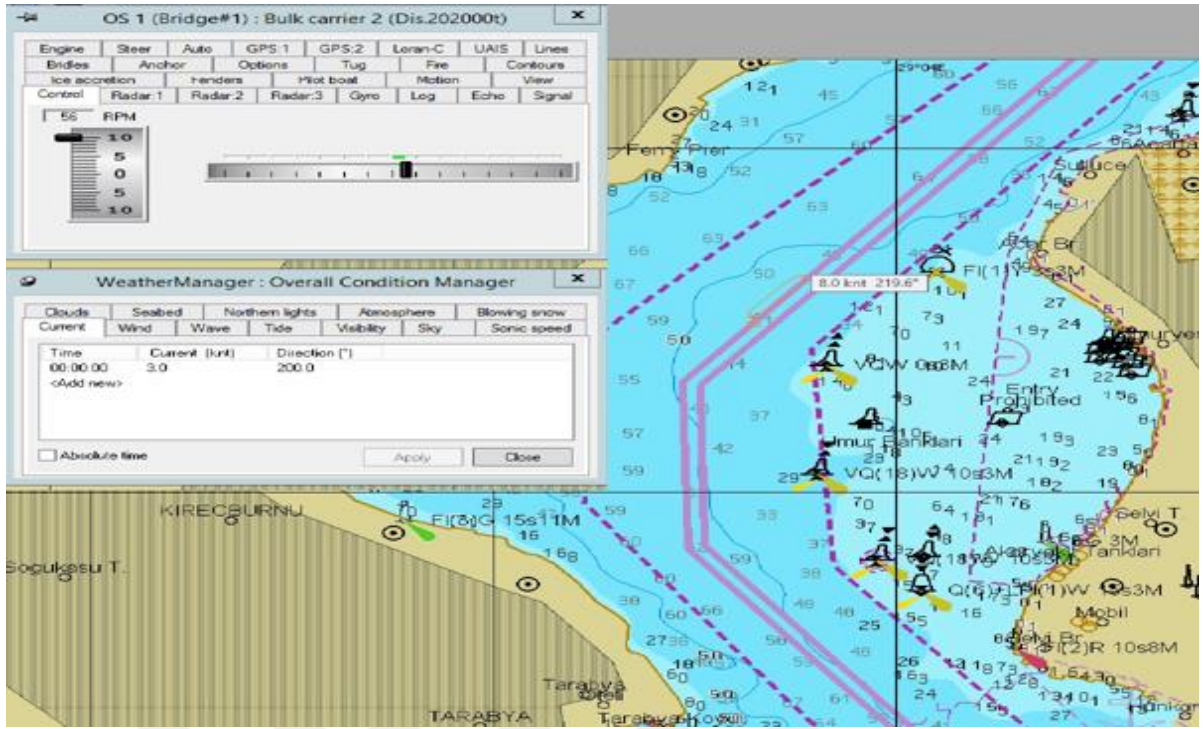


Şekil 15: İstanbul Boğazında seçilen alan ve nötr basınç hattı

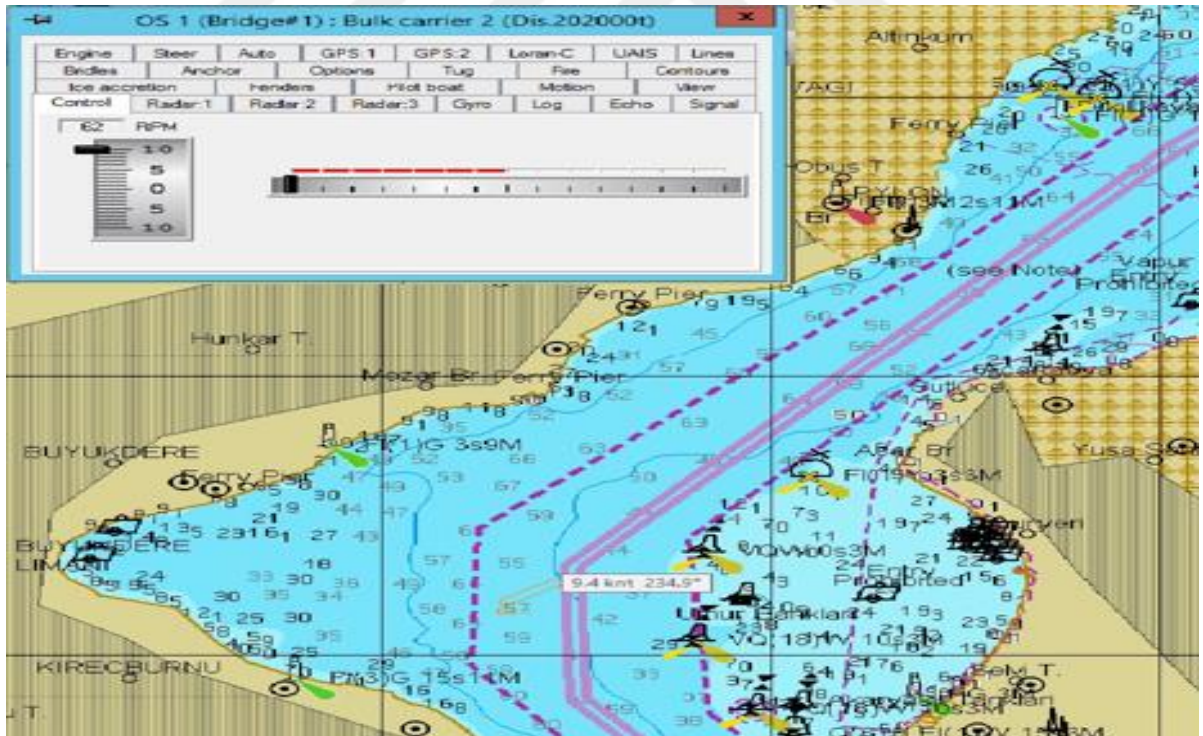
Bu akıntı değerlerinin gemiler üzerindeki etkisini gözlemlemek adına Potansiyel Akım Teorisi bulgularından hareketle simülatör senaryo paketi üzerinde, çevresel dinamikler gün-gün işlenerek ve 4 farklı gemi modeli ile çalışılarak yeni TAD önerisi getirilmiştir. Yapılan ilk çalışma Dökme Yük gemisi ile olmuştur. Seçilen bu gemi ile Sarıyer açıklarından itibaren hızlanan akıntı değerlerinin analiz edilmesi ve gemilerin tepkisini ölçmek amacıyla tam yol ileri – yarım yol ileri gibi bir dizi makine telgrafi komutları yordamıyla farklı hız değerlerinde seyir yapılmıştır. Şekil 15 ile verildiği üzere Sarıyer açıklarından Tarabya önlerine kadar yüksek akıntı değeri ve seyir emniyeti açısından tehlikeli lokasyonları gösteren kırmızı renkle gösterilen alanlarda yere göre 10 knot ve altı hız değerlerinde geminin karaya oturduğu durumlarla karşılaşmıştır. Özellikle kırmızı ile gösterilen alanlarda bu tonajdaki bir gemide belirtilen hız değerlerinin altında emniyetli seyrin sağlanması mümkün olmamıştır. Ancak gemi yere göre hız değerinin bu referans değeri aşması halinde büyük tonajlı bu gemide akıntıya kapılmadan emniyetli geçiş söz konusu olmuştur. Özellikle Kireçburnu-Büyükdere arasında seperasyon hattına yakın ve mümkün mertebede küçük açılarla dönmek, geminin yere göre hız değerini düşürmemek önem arz etmektedir (Şekil 16, Şekil 17). Düşük hızlarda bu alandan geçerken geminin baş-kıç taraflarını akıntıya kaptırmamak önemlidir. Geminin akıntıya kapılması durumunda geminin Tarabya önlerinde karaya oturması olasıdır (Şekil 18, Şekil 19).



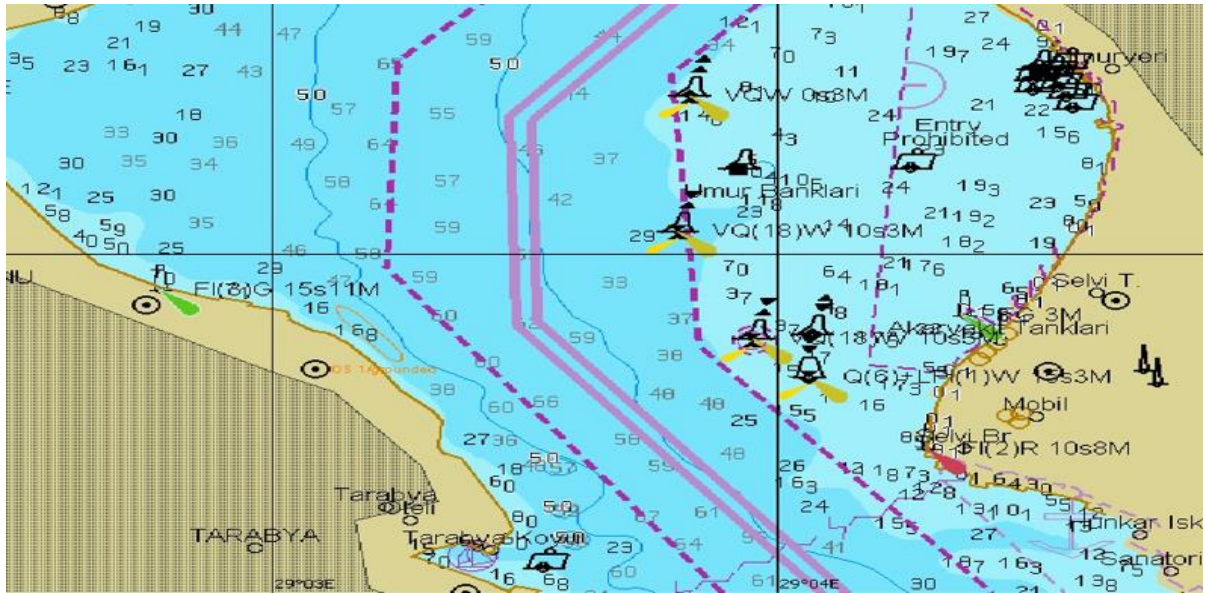
Şekil 16: Dökme Yük gemisi ile yere göre 6.8 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Mezar Burnu açıklarından geçiş



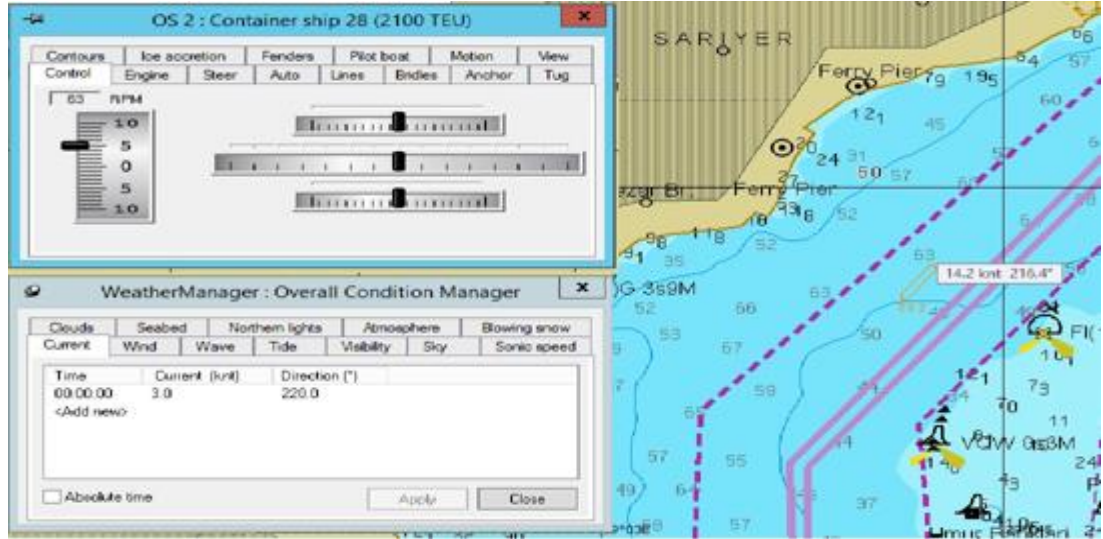
Şekil 17: Dökme yük gemisi ile yere göre 8 knot hız ve küçük iskelele dönüş açısı ile Umuryeri açıklarından geçiş



Şekil 18: Dökme yük gemisinin yetersiz hız ve uygun manevra yapmaması nedeniyle akıntıya kapılması

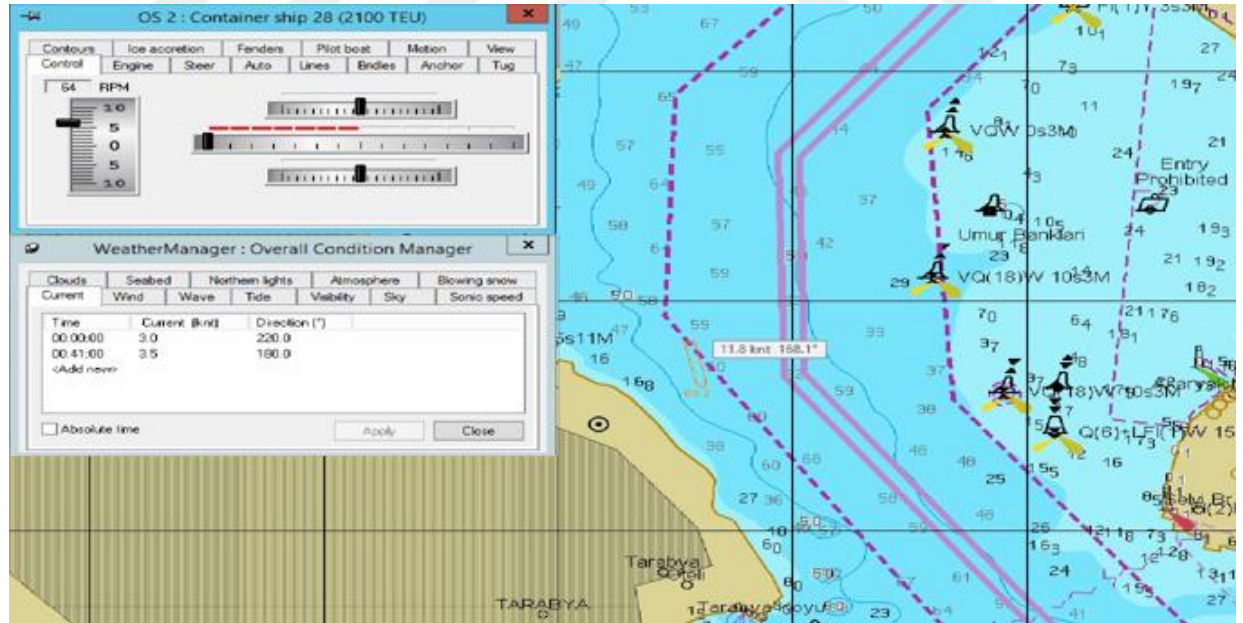


Yapılan ikinci çalışma Konteyner gemisi ile olmuştur. Seçilen bu gemi ile Sarıyer açıklarından itibaren hızlanan akıntı değerlerinin analiz edilmesi ve gemilerin tepkisini ölçmek amacıyla tam yol ileri – yarım yol ileri gibi bir dizi makine telgrafı komutları yordamıyla farklı hız değerlerinde seyir yapılmıştır. Şekil 20’de görüldüğü üzere Sarıyer açıklarından Tarabya önlerine kadar yüksek akıntı değeri ve seyir emniyeti açısından tehlikeli lokasyonları gösteren kırmızı renkle gösterilen alanlarda yere göre 10 knot ve altı hız değerlerinde konteyner gemisinde de geminin karaya oturduğu durumlarla karşılaşmıştır. Özellikle kırmızı ile gösterilen alanlarda bu tonajdaki bir gemide belirtilen hız değerlerinin altında emniyetli seyrin sağlanması mümkün olmamıştır.



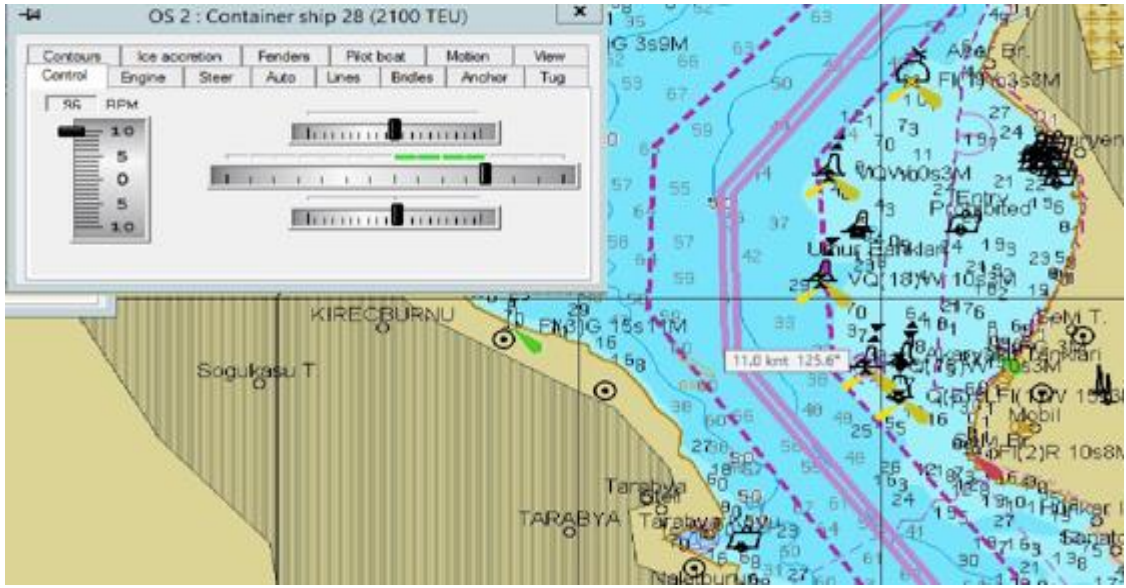
Şekil 20: Konteyner gemisi ile yere göre 14.2 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Mezar Burnu açıklarından geçiş

Özellikle Kireçburnu-Büyükdere arasında seperasyon hattına yakın ve mümkün mertebede küçük açılarla dönmek, geminin yere göre hız değerini düşürmemek gerekliliği bir kez daha teyit edilmiştir (Şekil 20). Hız değerinin düşmesi ile birlikte bu alandan geçerken gemi akıntıya kapılma durumu vuku bulmuş (Şekil 21) ve gemi Tarabya önlerine doğru sürüklenmeye başlamıştır.

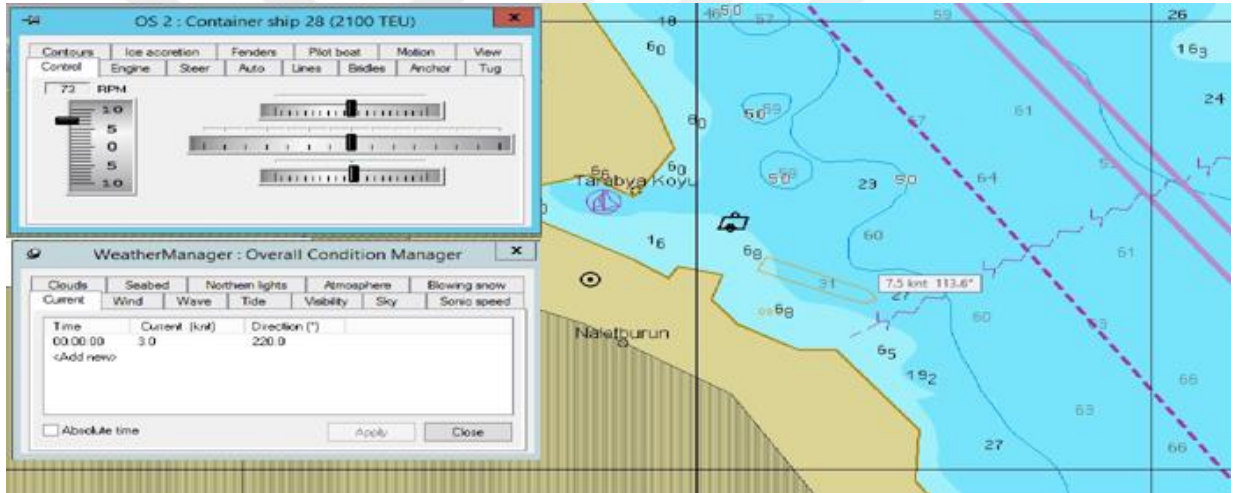


Şekil 21: Konteyner gemisinin yetersiz hız ve uygun manevra yapmaması nedeniyle akıntıya kapılması

Geminin Tarabya önlerine 11 knot gibi bir hızla gelmesinde gemi dümen komutları ile tekrar rotasına girebilmiştir (Şekil 22). 10 knot altındaki hız değerlerinde ise dümen komutlarının yetersiz gelerek geminin karaya oturduğu gözlemlenmiştir (Şekil 23).

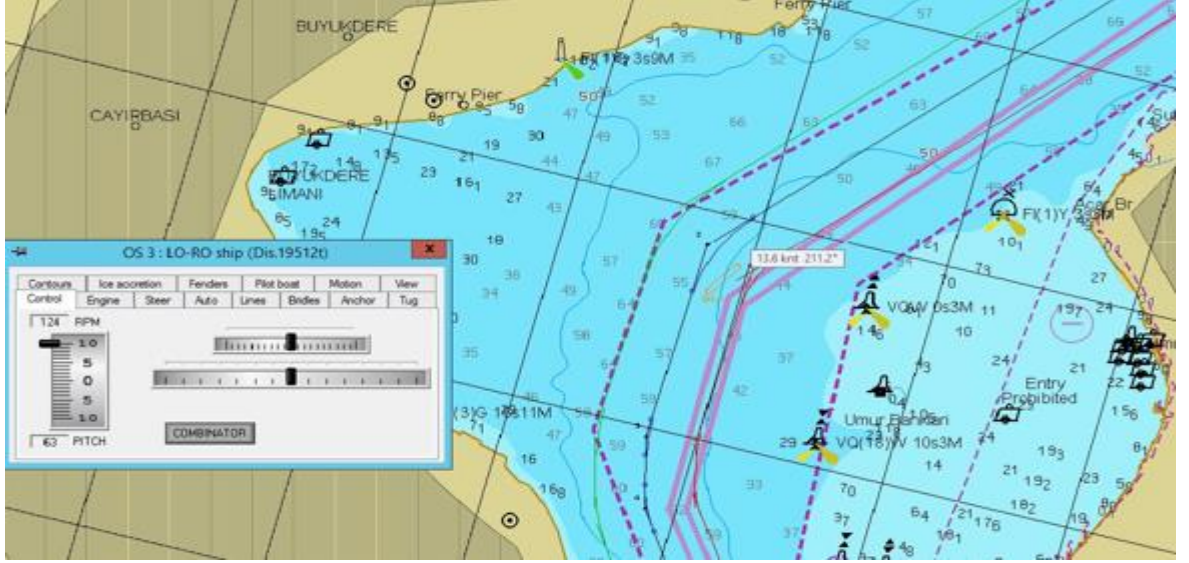


Şekil 22: Konteyner gemisinin akıntı kaynaklı sürüklenmeden kurtulması



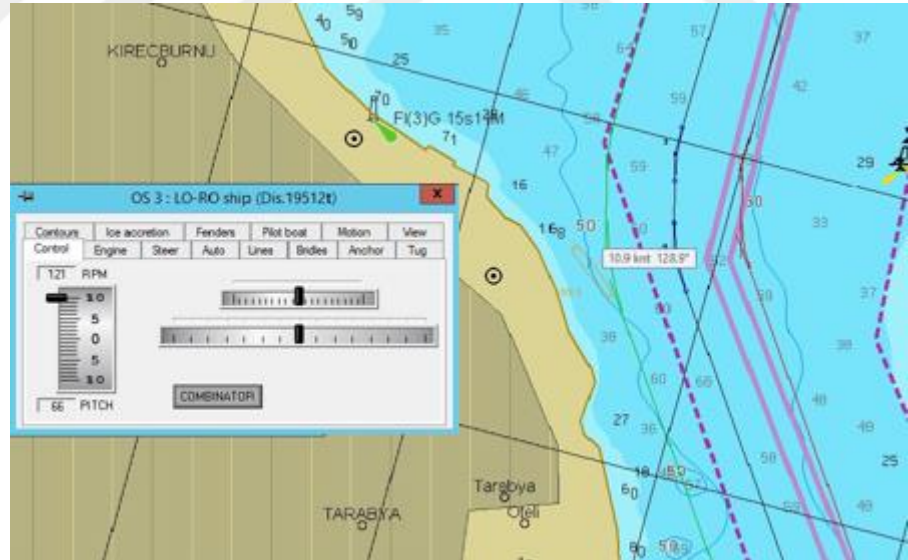
Şekil 23: Akıntıyı yenemeyen konteyner gemisinin Naletburun önlerinde karaya oturması

Yapılan üçüncü çalışma Lo-Ro gemisi ile olmuştur. Seçilen bu gemi ile Sarıyer açıklarından itibaren hızlanan akıntı değerlerinin analiz edilmesi ve gemilerin tepkisini ölçmek amacıyla önceki simülasyon çalışmalarına benzer şekilde tam yol ileri – yarım yol ileri gibi bir dizi makine telgrafı komutları yordamıyla farklı hız değerlerinde seyir yapılmıştır. Şekil 24'te görüldüğü üzere Sarıyer açıklarından Tarabya önlerine kadar yüksek akıntı değeri ve seyir emniyeti açısından tehlikeli lokasyonları gösteren kırmızı renkle gösterilen alanlarda yere göre 10 knot ve altı hız değerlerinde Lo-Ro gemisinde de geminin karaya oturduğu durumlarla karşılaşmıştır. Özellikle kırmızı ile gösterilen alanlarda bu tonajdaki bir gemide belirtilen hız değerlerinin altında emniyetli seyrin sağlanması mümkün olmamıştır.



Şekil 24: Lo-Ro gemisi ile yere göre 13.6 knot hız ve küçük iskeleye dönüş açısı ile Mezar Burnu açıklarından geçiş

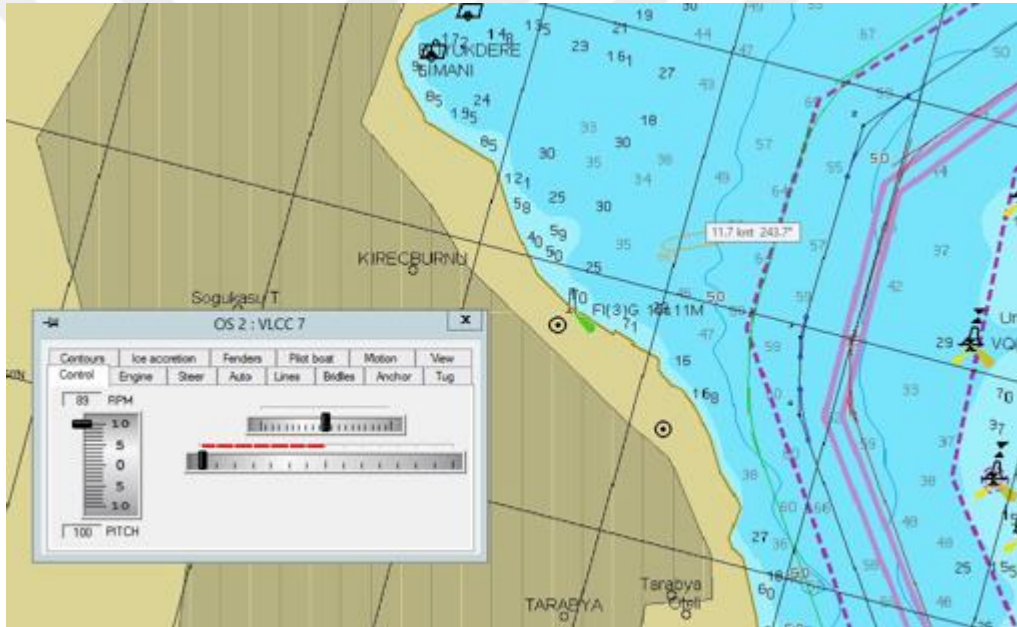
Geminin Kireçburnu açıklarında seperasyon hattından uzakta seyretmesi halinde yapılması Şekil 25’de verilen yoğun akıntının ve geminin manevra yapma gerekliliğinin etkisiyle birlikte Tarabya önlerine doğru sürüklenmeye başlamıştır. Konteyner gemisi örneğinde olduğu gibi 10 knot ve üzeri hız değerinde uygun dümen komutu ile geminin karaya oturmadan tekrar rotasına girebildiği gözlemlenmiştir.



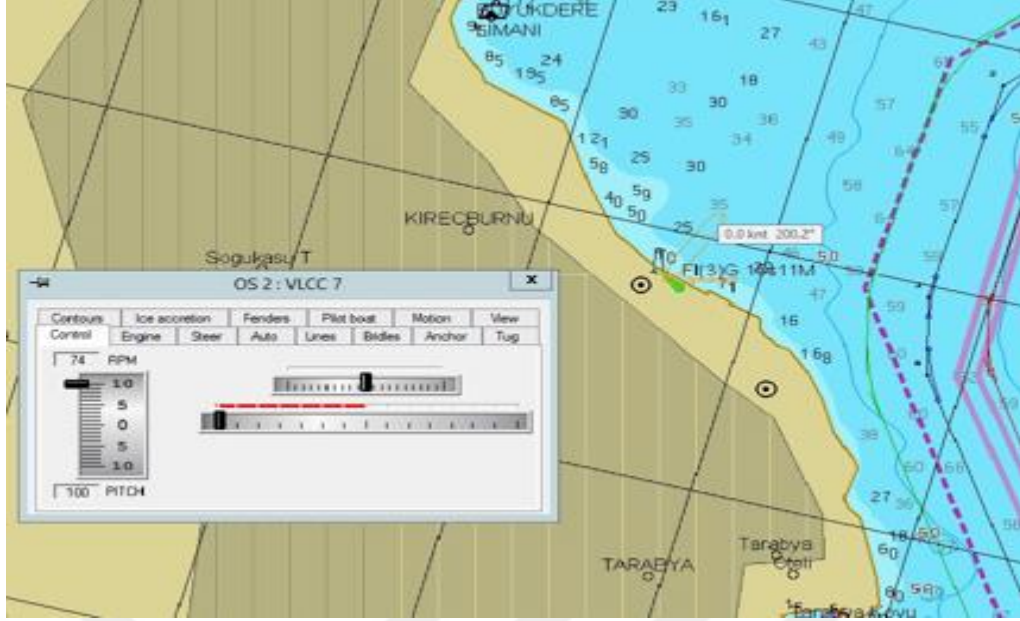
Şekil 25: Lo-Ro gemisi ile Kireçburnu açıklarında seperasyon hattında açıkta geçiş yapılırken geminin akıntıya kapılması

Simülâtörlerde son çalışma VLCC gemisi ile yapılmıştır. Seçilen bu gemi ile Sarıyer açıklarından itibaren hızlanan akıntı değerlerinin analiz edilmesi ve gemilerin tepkisini ölçmek amacıyla önceki simülâtör çalışmalarına benzer şekilde tam yol ileri – yarım yol ileri gibi bir dizi

makine telgrafı komutları yordamıyla farklı hız değerlerinde seyir yapılmıştır. Şekil 26'da görüldüğü üzere Sarıyer açıklarından Tarabya önlerine kadar yüksek akıntı değeri ve seyir emniyeti açısından tehlikeli lokasyonları gösteren kırmızı renkle gösterilen alanlarda yere göre 10 knot ve altı hız değerlerinde VLCC gemisinde de geminin karaya oturduğu durumlarla karşılaşmıştır. Özellikle kırmızı ile gösterilen alanlarda bu tonajdaki bir gemide belirtilen hız değerlerinin altında emniyetli seyrin sağlanması mümkün olmamıştır. Diğer gemilerle kıyaslandığında VLCC gemisi tonaj ve manevra karakteristiği nedeniyle Mezar Burnu açıklarından döndükten sonra, seperasyon hattından paralel rotada ne kadar uzakta seyir yaparsa geminin toparlayarak rotasına girmesi bir o kadar daha zor olmuştur. Geminin manevrasının daha kısıtlı olduğu, akıntı hızının yoğunlaştığı kırmızı alanlarda akıntıya kapılarak sürüklenme ihtimalinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 26, Şekil 27).

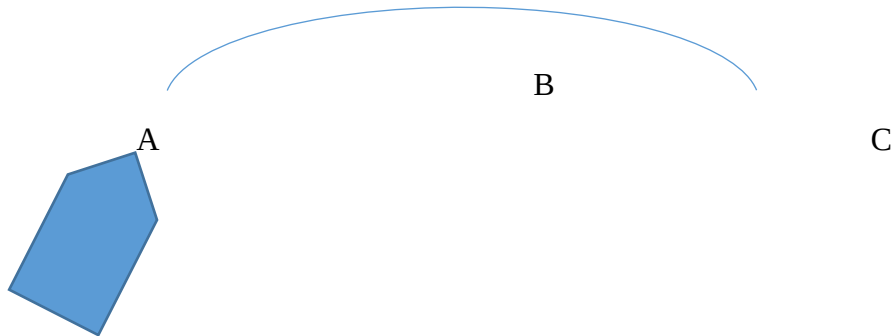


Şekil 26: VLCC gemisi ile Kireçburnu açıklarından geçerken akıntıya kapılarak sürüklenme



Şekil 27: VLCC gemisi ile Kireçburnu açıklarında akıntı nedeniyle karaya oturma

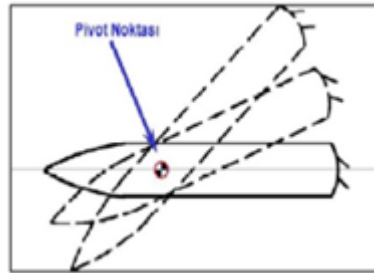
Bir gemi manevrası sırasında dümen komutu verildikten sonra (Şekil 28, A noktası: dümen komutunun verildiği yer) hemen gemi dönmeye başlamaz (simülatör çalışması bulguları da bunu teyit etmektedir) ve gemi diğer kara araçları gibi hemen dönmemektedir. Belirli bir süre geçtikten sonra gemi ataletiyle birlikte dönme işlemi başlamaktadır (Şekil 28, B noktası) ve geminin dönmesi de belirli periyot sonrasında tamamlanmaktadır (Şekil 28, C noktası). Simülatör çalışmalarında gözlemlendiği üzere trafik ayırım düzeni hazırlanırken, manevra gerektiren yerler gemi manevra pratiğinden uzak olarak ve gemilerin manevra karakteristiklerini göz önünde bulundurmadan sanki gemi hemen dönecekmiş yaklaşımı söz konusudur. Özellikle keskin manevra gerektiren bu noktalarda, akıntı hız değerleri de Şekil 29’da kırmızı renk ile de verildiği üzere ciddi artış göstermekte ve gemilerin bu dönme noktalarından (separasyon hattına göre) açıktan alacak şekilde manevra yapmaları veya erken manevraya başlamayıp dönme noktalarını kaçırmaları halinde akıntıya geminin kapılması, karaya oturma gibi bir dizi kazalarla karşılaşmaktadır.



Şekil 28: Gemi dümen komutundan dönmesine kadar geçen süreç ve dönme eğrisi

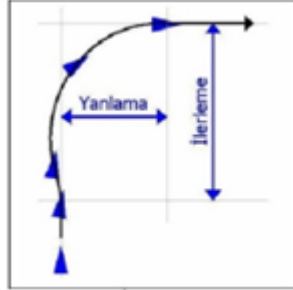
Bu yüzdendir ki optimum TAD hattı oluşturulurken özellikle keskin manevra gerektiren yerlerde düz bir hat çizmekten ziyade, Şekil 28’de görüldüğü üzere gemilerin boyutlarına göre oluşabilecek dönme eğrisine uygun olarak dinamik bir hat bileşeni tanımlanmalıdır. Bu hat önerisi ile seyir yapılan bölge akıntı rejimine ve diğer çevresel dinamiklere tam hâkim olmasa bile gemi vardiya zabitleri için artan bir farkındalık yaratılabilecektir. Vardiya zabitleri hangi rotayı takip edebileceklerini bulundukları gemi özelinde daha spesifik olarak görecektir. Özellikle seyir sırasında kullanılmakta olan gemi elektronik harita ve bilgi gösterim sistemi (ECDIS) üzerinde uygulanmakta olan emniyetli derinlik, emniyetli hat gibi seyir emniyetini arttıran ve durumsal farkındalık sağlayan yaklaşımlara benzer bir görünüm ile gemiye özgü ayarlanabilir-dinamik TAD hattının oluşturulması yerinde olacaktır. Yapılan simülatör çalışması bulguları da işbu hususu destekler niteliktedir.

Bunun yanı sıra boğazda seyreden gemiler dönüş yerlerine gelmeden belirli bir mesafe kala dönüşlerine başlamalıdır. Eğer gemiye verilen dönüş emri seyredilen rota ile müteakiben dönülecek rotanın kesişim noktasında verilirse dönüş gecikecek, gemi geç dönecek hatta belki dönmeyecek ve karaya bile oturulabilmektedir. Dönüşün kaçırılmaması ve tam yerinde yapılması için geminin pivot noktasının da vardiya tutan personel tarafından iyi bilinmelidir. Bu nedenle, bir vardiya personeli geminin ileri giderken yaklaşık olarak baş tarafının 1/3 mesafesinde ve tornistan giderken ise kıç tarafının 1/4 mesafesinde geminin pivot noktasının yer aldığını bilir [48].



Şekil 29: Pivot Noktası

Ayrıca geminin manevralarında düşünülmesi gereken başka bir husus da yanlamadır. Yanlama, dümene basıldıktan sonra geminin döndüğü müteakip rotaya olan dik mesafeye verilen addır.



Şekil 30: Yanlama

Zaman içerisinde elde edilen tecrübeler göstermiştir ki, İstanbul Boğazı geçişleri esnasında farklı türdeki ve ebattaki hiçbir gemi aynı rotayı izleyemez. Bu husus Şekil 28’de de gösterilmiştir. Bundaki en büyük neden insan faktörünün yanında geminin yapım aşamasında tekne yapısı ile alakalı olan ve her gemi türü için farklı bir değer olan SDNE yani Standart Seyir Hatası değeridir. Bu durumu yaptığımız simülasyon çalışmasında da gözlemlenmiştir. Simülasyon çalışmalarında karakteristik özellikleri birbirine yakın olan gemiler olan dökme yük gemisi ile VLCC’nin ve de Konteyner gemisi ile Lo-Ro gemisinin İstanbul Boğazı geçişini aynı rota bacakları üzerinde geçtiği gözlemlenmiştir. Bundaki en büyük etkenin gemilerin karakteristik özellikleri temelinde Şekil 28’de de gösterilmiş olan dönme eğrisinin benzerliğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Tarabya-Beykoz dönüşünde simülasyon çalışmasında kullanılan tüm gemilerin aynı rota bacağını izlediği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi de anılan yerdeki rota değişikliğinin az olmasından (20 derece) kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları esnasında kullandığımız gemi modelleri yukarıda bahsi geçen rota dönüş noktalarında izlediği rotaların konum bilgileri Tablo 5-1’de gösterilmiştir.

Tablo 5-1: Simülasyon çalışması esnasında kullanılan gemi tipleri ve simülasyonda izlediği dönüş mevkileri.

Mevkii	Anadolukavağı-	Sarıyer-	Tarabya-Beykoz	Beykoz-İstinye
Gemi Tipi	Sarıyer	Kireçburnu		
Dökme Yük Gemisi	4109.481K- 02903.661D	4108.876K- 02903.519D	4108.256K- 02903.338D	4107.492K- 02905.030D
	4109.324K- 02903.574D	4108.718K- 02903.614D	4108.179K- 02904.433D	4107.326K- 02905.025D
	4109.240K- 02903.511D	4108.635K- 02903.637D	4108.125K- 02904.522D	4107.186K- 02905.022D
Konteyner Gemisi	4109.445K- 02903.641D	4108.837K- 02903.522D	4108.256K- 02903.338D	4107.448K- 02905.053D
	4109.257K- 02903.510D	4108.646K- 02903.616D	4108.179K- 02904.433D	4107.323K- 02905.055D
	4109.315K- 02903.552D	4108.708K- 02903.585D	4108.125K- 02904.522D	4107.193K- 02905.012D
Lo-Ro	4109.445K- 02903.641D	4108.837K- 02903.522D	4108.256K- 02903.338D	4107.448K- 02905.053D
	4109.257K- 02903.510D	4108.646K- 02903.616D	4108.179K- 02904.433D	4107.323K- 02905.055D
	4109.315K- 02903.552D	4108.708K- 02903.585D	4108.125K- 02904.522D	4107.193K- 02905.012D
VLCC	4109.481K- 02903.661D	4108.876K- 02903.519D	4108.256K- 02903.338D	4107.492K- 02905.030D
	4109.324K- 02903.574D	4108.718K- 02903.614D	4108.179K- 02904.433D	4107.326K- 02905.025D
	4109.240K- 02903.511D	4108.635K- 02903.637D	4108.125K- 02904.522D	4107.186K- 02905.022D



Şekil 31: Gemilerin Boylarına Göre İzlemesi Tavsiye Edilen Rotalar

Seyir sırasında gemi elektronik harita ve bilgi gösterim sistemi (ECDIS) kullanılarak rota üzerindeki seperasyon hattı, derinlik bilgisi gibi bir dizi unsurlar takip edilmektedir. ECDIS'te rota üzerinde gösterilecek emniyetli derinlik, hat gibi unsurlar sistem üzerinden kullanıcının girmiş olduğu değerlere göre veya ECDIS'le birlikte ayarlanmış başlangıç ayarları nezdinde kullanıcılara sunulurken farkındalık yaratılır. Seperasyon hatları ise, idarece bildirildiği şekli ile standart haldedir. Yapılan simülasyon çalışmasında farklı gemilerle yapılan seyirlerde farklı riskler olduğu tespit edilmiştir. Ancak standart bir seperasyon hattı olması nedeniyle büyük tonajlı ve orta-küçük tonajlı gemi ayrımı olmaksızın tek hatta tüm gemiler seyir yapmaktadır. İstanbul Boğazı gibi keskin manevra gerektiren su yollarında özellikle akıntının hızını arttırdığı ve genellikle keskin manevra yapılması gereken noktalardan geçerken akıntı kaynaklı riskler olduğu aşikardır. Bu sebeple simülasyon çalışması sonuçlarına göre keskin manevra gerektiren rota değişimlerinde gemilerin tiplerine göre rota değişim noktalarına gelinmeden evvel gemilerin karakteristik özellikleri de bilinerek rota değişimlerine başlanılmalıdır. Draftı fazla ve sürati hızlı olup düşük dümen açısıyla dönüş icra eden gemilerin yanlaması fazla olacağından bu gemilerin dönüş yerlerini kaçırmaları planlı rota bacaklarından sapmalara ve boğazdan geçiş yapan gemilerin planlı rotalarına ve hareketlerine çaparız vereceğinden olası bir deniz kazasına sebebiyet verme ihtimali artacaktır. Bu nedenle bahse konu gemilerin Şekil 31'de mavi ile belirlenen dar bir rotayı izlemesi deniz kazası ihtimalini ortadan kaldıracak düşünülmektedir. Geminin çevresel ve meteorolojik değişkenler, gemi hidrodinamiği kaynaklı salt mavi renk ile rota da seyir yapması zor olacaktır. Bu sebeple ECDIS'lerde olduğu gibi rotaya paralel iki rota oluşturularak, olası sapmalara karşı

geminin emniyetli seyir yapacağı alanda ayrıca burada öneri olarak sunulmuştur. Geminin iskele tarafının kırmızı, sancak tarafının yeşil ile simgelendiği Şekil’31’de böylece TAD önerisinde ECDIS pratiğinde olduğu gibi bir emniyetli alan böylece yaratılmaya çalışılmıştır. Şekil 31’in standart olmayıp, sadece simülatör üzerinden seçilen gemilerden birisini simgelediği, gemilerin seyir-manevra karakteristiğine göre bu hatların şekillendiği unutulmamalıdır.



6. TARTIŞMA VE SONUÇ

İstanbul Boğazı, dünyanın en fazla gemi trafiğinin gözlemlendiği ve en tehlikeli su yollarından birisidir. Yılda yaklaşık 38000 geminin geçiş yaptığı İstanbul Boğazı'nda her yıl akıntı kaynaklı kazalar yaşanmaktadır. İstanbul Boğazı'ndan geçen gemilerin boyutları her geçen gün artmakla birlikte beraberinde kaza riski de artmaktadır. İstanbul Boğazı'nda kaza risklerini minimize etmek için kullanılan en faydalı araçlardan birisi TAD'dır. Pratikte uygulanmakta olan TAD'lar genelde basit şekilde oluşturulmakta, bu esnada akıntı ve çevresel dinamikler göz ardı edilmektedir. Ancak meydana gelen kazalar ve literatürde yer alan çalışmalar göstermektedir ki TAD'ların daha detaylı çalışmalarla akıntı ve çevresel değişkenleri de içerecek şekilde güncellenmesi ile birçok akıntı kaynaklı kaza önlenebilecektir. Dolayısıyla statik bir TAD yerine dinamik bir TAD kullanımı deniz kazalarının minimize edilmesi için çok daha yerinde olacaktır. TAD ile İstanbul Boğazı ortadan ikiye ayrılmakta tek yönlü ya da çift yönlü trafik ayrımı gözetmeksizin günümüzde gemiler bu hattın sancak tarafından ilerlemektedir. Yapılan literatür taraması bulgularına göre, TAD'ların oluşturulma şekline veya akıntı rejimi kaynaklı kazaların önlenmesine ilişkin sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasından en önemlisi Süner ve Baş (2022) tarafından yapılan çalışma olup, bu çalışma ile ilk defa Potansiyel Akım Teorisi ile akıntı modellemesi yapılmıştır. Bu modelleme oluşturulan CFD modeli sonuçları ile karşılaştırılarak, doğrulaması yapılmıştır. Her ne kadar akıntı modeli kurularak bu model üzerinden TAD değerlendirmesi yapılmış olsa da bu çalışmada da operasyonel boyut ve denizcilik pratiği göz ardı edilmiştir. Yapılan bu çalışmada Potansiyel Akım Teorisine operasyonel boyut ve denizcilik pratiği (COLREG/DÇÖY uygulamaları ile) eklenerek bu tez kapsamında mevcut TAD uygulaması üzerinde yeni bir öneri getirilmiştir. Bu öneri getirilirken gerçek gemiler üzerinde çalışma yapılması mümkün olmayacağı için Gemi Köprüüstü Simülatöründe gerçeğe en yakın İstanbul Boğazı seyir senaryoları geliştirerek bu senaryo paketi üzerinde analizler tamamlanmıştır. Senaryo paketleri ile yapılan çalışmalarda hangi lokasyonlardan ve hangi şartlar altında seyir riskleri olduğu ortaya çıkartılmıştır. Araştırma sonuçları ve kazaların gerçekleştiği lokasyonlarda paralellik olduğu gözlemlenmiştir. Potansiyel akım teorisi bulguları ile gemilerin akıntı kaynaklı karaya oturma, çatma/çatışma vakalarının gözlemlenmesi arasında ilişkininde tutarlılığı bu esnada gözlemlenmiştir. Simülatörlerde gemilerin akıntı, rüzgâr ve hidrodinamik etkenler altında hareketlerine ilişkin özet mahiyetinde zamana bağlı enlem boylam bilgisini içeren veri setleri elde edilmiştir. Bu veri setleri eğri uydurma tekniği ile nihai olarak ele alınarak, harita ve kitabi bilgilerde liner desenle yer verilen keskin manevra gerektiren yerlerdeki seperasyon hatları gemilerin manevra yetileri nezdinde tekrar ele alınarak, polinom ile eğri uydurma yaklaşımı ile

daha esnek hem gemi ileri hem de yanal hareketine bağı risk algısı üzerinden daha uygulanabilir şekilde modellenmiştir. Önerilen modelin uygulanması ile kaza oranlarını daha da aşağıya çeken ve denizcilik, gemi manevra pratiğini dikkate alan bir TAD önerisi literatüre kazandırılmıştır. ECDIS'te geminin gideceği rota çizildiğinde otomatik olarak geminin rotadan çıkma uyarısını vermek üzere rotaya paralel hatlar oluşturulabilmektedir. Bu tez kapsamında elde edilen bu hatta tıpkı geminin seyir yapacağı hat gibi düşünülerek, ECDIS örneğinde olduğu gibi tezin sektörel uygulamalara konu olması halinde çizilen dinamik trafik ayırım düzenine paralel hatlar oluşturularak, gemi özelinde emniyetli hat tanımlaması yapılabilir. Bu aşamada tezin önerisi olan matematiksel fonksiyonda yanal mesafe ayarlama haricinde herhangi bir işlem yapılmasına gerek kalmayacaktır. İleriki dönemlerde bu sebeple burada önerilen hat, ECDIS'te kullanılmakta olan ENC harita üreticileri için referans olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] KESGİN, U. & VARDAR, N. (2001). A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits, Atmospheric Environment, Volume 35, Issue 10, Pages 1863-1870, ISSN 1352-2310.
- [2] <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/turk-bogazlari-gemi-gecis-istatistikleri>
- [3] AKTEN, N. (2003). The Bosphorus: Growth of Oil Shipping and Marine Casualties, J. Black Sea/Mediterranean Environment, Vol. 10, pg. 209-232.
- [4] ÇAKIR, E. KAMAL, B. (2021) İstanbul Boğazı'ndaki Ticari Gemi Kazalarının Karar Ağacı Yöntemiyle Analizi.
- [5] KODAK, G., KARA, G., YILDIZ, M., ŞALCI, A. (2022). İstanbul Boğazı' nda deniz kazalarının seyir emniyeti perspektifinde incelenmesi: İSTANBULMAKS gemi tipi önerisi. Aquatic Research, 5(1), 63-88
- [6] ÖZDEMİR, M. (2019) Türk Boğazları'nda Meydana Gelen Gemi Kazalarının Konumsal Analizi ve Değerlendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- [7] İSTİKBAL, C. (2020) Strait of İstanbul, Major Accidents and Abolishment of Left-hand Side Navigation .
- [8] <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/diger-istatistikler>
- [9] İNAL-ÇEKİÇ, T., KOZAMAN-AYGÜN, S. & BİLEN, Ö. (2023) Reflections on “place attachment”: perceptions of urban redevelopment in an informal neighborhood in Istanbul. J Hous and the Built Environ.
- [10] PRAETORIUS, G., HOLLNAGEL, E. (2014) Control and Resilience Within the Maritime Traffic Management Domain.
- [11] WESTRENEN F.V., PRAETORIUS, G. (2014) Maritime Traffic Management: A Need For Central Coordination.
- [12] YILDIZ, S., UĞURLU, Ö., LOUGHNEY, S., WANG, J., TONOĞLU, F. (2022) Spatial and statistical analysis of operational conditions influencing accident formation in narrow waterways: A Case Study of Istanbul Strait and Dover Strait, Ocean Engineering, Volume 265,2022, 112647, ISSN 0029-8018.
- [13] AKTEN, N. (2006) Shipping accidents: a serious threat for marine environment, J. Black Sea/Mediterranean Environment, Vol 12, pg.269-304.
- [14] AKTEN, N. (2003). The Strait of Istanbul (Bosphorus) : The seaway separating the continents with its dense shipping traffic .

- [15] EROL, S., BAŞAR, E. (2015) The analysis of ship accident occurred in Turkish search and rescue area by using decision tree. *Maritime Policy & Management*, 42(4), 377-388.
- [16] YETKİN, O., CEYLAN, M. F., DUMAN, S. (2021) İstanbul Boğazı'nda Gemi Trafik Hizmetlerinin (VTS) Rolü ve Geliştirilmesine Yönelik Öneriler, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Sayı 36 (4).
- [17] SÜNER, M. & BAŞ, M. (2022) A new approach to narrow waterways traffic routing with potential flow theory and CFD. *ELSEVIER, Ocean Engineering*.
- [18] İNAN, Y. (2015) Türk Boğazlarının Siyasal ve Hukuksal Rejimi, Ankara, Turhan Kitabevi.
- [19] TIMOSENKO, A (2004) Rossisky Petrol Sektörü. Moskova Drujba Yayınları.
- [20] MARSHALL, G. A. (2018) Navigating the Turkish Straits: Perils, Politics, and Diplomacy, University of Winconsin Press, 3-4.
- [21] ÖZBEN, C. (2006) İstanbul Boğazı'nın Çevre Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi.
- [22] ISO 2001.
- [23] Türk Boğazları Seyir Rehberi (2015).
- [24] ÖZALP, A., & ÖZTÜRK, M. Z. (2015) İstanbul Boğazı'nın Jeomorfolojik Özellikleri. *Türkiye Jeomorfoloji Bülteni*, 63, 25-42.
- [25] ARIKAN, H. (2017) İstanbul Boğazı'nda Derinlik ve Akıntı Yapısının Modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [26] YÜCE, H., & ERYILMAZ, M. (2020) The Istanbul Strait: Its Geology, Morphology, and Navigation. In *The Sea in History-Mediterranean and Beyond* (pp. 243-260). Brepols Publishers.
- [27] BUHUR, S. İstanbul Boğazı'ndaki Tehlikeli Yük Taşımacılığının Ön ve Geri Görünüm Sınırlarında Risk Altında Bıraktığı Bölgelerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] ECE, N. (2005) İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Kazalarının Seyir ve Çevre Güvenliği Açısından Analizi ve Zararsız Geçiş Koşullarında Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.702.
- [29] TOPAKOĞLU, L. İstanbul Boğazı'nda Deniz Yolu ile Petrol Taşımacılığının Çevresel Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. http://www.denizhaber.com/index.php?sayfa=yazar&id=11&yazi_id=100095
- [30] TAŞLIGİL, N. İstanbul Boğazı'nın Ulaşım Coğrafyası Açısından Önemi. *Marmara Coğrafya Dergisi* Sayı:10.

- [31] ALGAN, N., SAV, Ö.(2000) Türk Boğaz'larında Çevrenin Korunmasına Yeni Yaklaşım Özellikle Duyarlı Bir Deniz Alanı (ed:ÖZTÜRK, B.,) Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TÜDAV Yayın No:5 s.63.
- [32] TUĞRUL,S.ve diğ.(2000) Marmara Denizi ve Türk Boğazları Sisteminin Kimyasal Oşinografisi (ed:ÖZTÜRK,B.,)Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TÜDAV Yayın No:5 s.330.
- [33] SBT (2002): B.Ü. Sualtı Bilim Teknolojisi Toplantısı, .<http://www.turkishpilots.org.tr/DOCUMENTS/C-ISTIKBAL-BoğazdanGecen-EnBüyükGemi>.
- [34] AKTEN, N. (2004) Analysis of Shipping Casualties in The Bosphorus.
- [35] ÖZAKSOY S.(1994) İstanbul Boğazındaki Transit Deniz Taşımacılığı. Bu Taşımacılığın Boğaza ve Marmara Denizi'ne Olan Etkileri. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [36] http://www.denizhaber.com/index.php?sayfa=yazar&id=11&yazi_id=100095
- [37] TANKER, S. (2020) İstanbul Boğazı'ndaki Kazalar ve Kanal İstanbul.
- [38] BALIK, İ., AYDIN, S.Z., BITIKTAŞ, F. (2022) Türk Boğazları Trafik Yoğunluğu, Bekleme Süreleri ve Deniz Kazaları, Kent Akademisi Dergisi, 15(1):262-276
- [39] ECE, N.J., (2007) İstanbul Boğazı: Deniz Kazaları ve Analizi, DEKAŞ Yayınları, İstanbul, s. 51-190).
- [40] CHAPMAN, S.E. ve AKTEN N., (1993) Marine Casualties in the Turkish Straits, Seaways, s. 6-9.
- [41] GÖKNİL, G., (2004) İstanbul Boğazı'nda kurulması düşünülen gemi trafik kontrol sistemi için DGPS yöntemine dayalı bir öneri, 3. CBS Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 6-9 Ekim.
- [42] HOFFMAN, Michael L. "Ship Organization Nears Final Form; U.N. Maritime Body Expected to Have 3 Principal Organs -- Panama in Opposition," New York Times. March 4, 1948.
- [43] About IMO, Wayback Machine, 28 December 2012.
- [44] IMO Ships' Routeing, 2019.
- [45] ZGHYAR, R., OSTNES, R. (2011) Opportunities and Challenges in Using Ship-Bridge Simulators in Maritime Research.
- [46] WINSBERG, E. (2003) Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. Philosophy of Science.
- [47] The Cambridge Dictionary (2018) Cambridge University Press.

[48] CAUVIER, H. The Pilot October 2008 No.295.

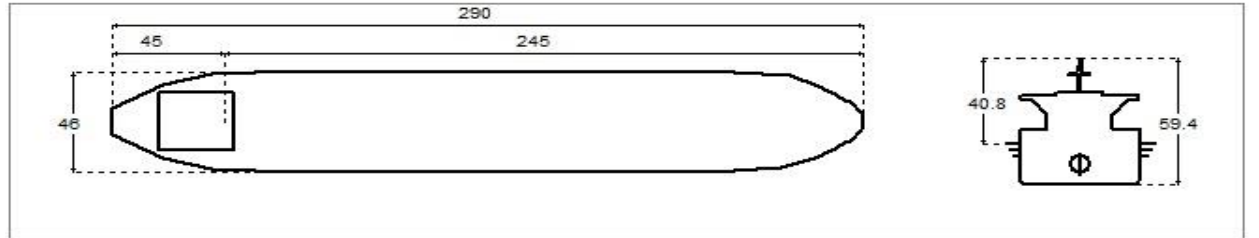


EKLER

EK 1. Simülâtorlerde Kullanılan Gemi Modeli Detayı (Gemi-1)

PILOT CARD				
Ship name	Bulk carrier 2 (Dis.202000t) TRANSAS 2.31.27.0 *			Date 14.04.2020
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built N/A
Load Condition	Full load			
Displacement	202000 tons	Draft forward	17.6 m / 57 ft 10 in	
Deadweight	179658 tons	Draft forward extreme	17.6 m / 57 ft 10 in	
Capacity		Draft after	18.6 m / 61 ft 2 in	
Air draft	40.8 m / 134 ft 2 in	Draft after extreme	18.6 m / 61 ft 2 in	

Ship's Particulars			
Length overall	290 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	46 m	Type of stern	V-shaped
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	15 / 15		(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)
Max. rate of heaving, m/min	9 / 9		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	35	Power	N/A
Rudder angle for neutral effect	0.14 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	13 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	659.6 s	9.69 cbis	Advance	4.29 cbis
HAH to HAS	767.6 s	9.97 cbis	Transfer	2.1 cbis
SAH to SAS	1124.8 s	10.55 cbis	Tactical diameter	4.89 cbis

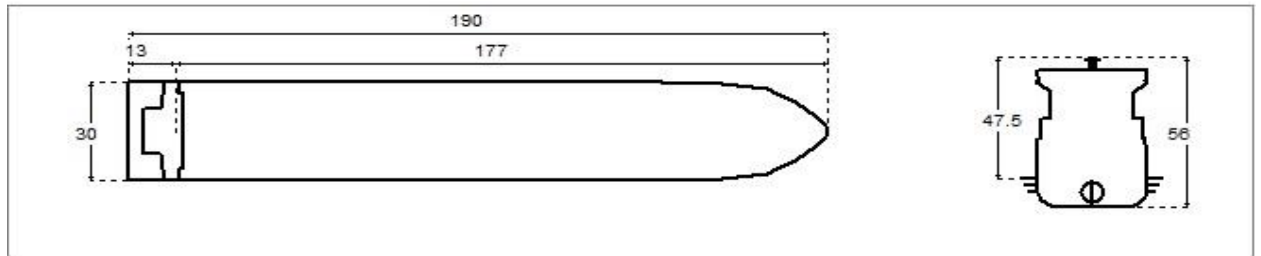
Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 14720 kW	Propeller type	FPP
Astern power	34 % ahead	Min. RPM	22
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	2.1 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	14.6	12271	65.2	1.05
"FAH"	11.5	5218	48.5	1.05
"HAH"	10	3477	42.3	1.05
"SAH"	7.2	1380	30.4	1.05
"DSAH"	6	819	25.3	1.05
"DSAS"	-2.1	724	-24.8	1.05
"SAS"	-2.6	1123	-29.5	1.05
"HAS"	-3.8	3499	-42.7	1.05
"FAS"	-4.4	5214	-48.8	1.05

EK 2. Simülâtorlerde Kullanılan Gemi Modeli Detayı (Gemi-2)

PILOT CARD					
Ship name	Container ship 28 (2100 TEU) 3.0.7.0 *			Date	15.04.2020
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A	Year built	N/A
Load Condition	Full load				
Displacement	32910 tons		Draft forward	8.5 m / 27 ft 11 in	
Deadweight	21800 tons		Draft forward extreme	8.5 m / 27 ft 11 in	
Capacity			Draft after	8.5 m / 27 ft 11 in	
Air draft	47.5 m / 156 ft 3 in		Draft after extreme	8.5 m / 27 ft 11 in	

Ship's Particulars			
Length overall	190 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	30 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	12 / 12	(1 shackle =27.5 m / 15 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	9 / 9		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	1000 kW
Rudder angle for neutral effect	0.31 degrees	Number of stern thrusters	1
Hard over to over(2 pumps)	14 seconds	Power	1000 kW
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	472.6 s	10.99 cbls	Advance	2.68 cbls
HAH to HAS	480.6 s	8.07 cbls	Transfer	1.17 cbls
SAH to SAS	578.6 s	6.27 cbls	Tactical diameter	2.61 cbls

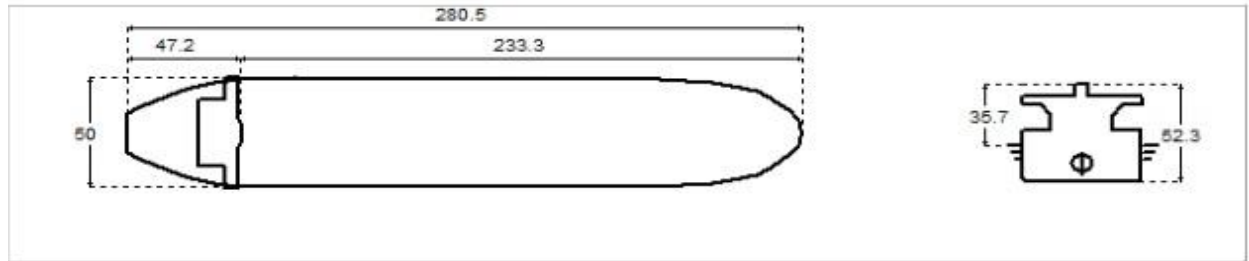
Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 17316 kW	Propeller type	FPP
Astern power	25 % ahead	Min. RPM	14
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	131.3 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"100%"	20.1	16450	105	1.05
"80%"	16.3	8877	85	1.05
"60%"	12.4	4088	65	1.05
"40%"	8.6	1442	45	1.05
"20%"	4.8	294	25	1.05
"-20%"	-2.7	220	-22	1.05
"-40%"	-4.6	883	-37	1.05
"-60%"	-6.3	2165	-51	1.05
"-80%"	-8	4329	-65	1.05

EK 3. Simulatörlerde Kullanılan Gemi Modeli Detayı (Gemi-3 Tam Yüklü)

PILOT CARD					
Ship name	VLCC 7 3.0.18.0 *			Date	17.04.2020
IMO Number	9316127	Call Sign	A8LY6	Year built	N/A
Load Condition	Full load				
Displacement	189406 tons		Draft forward	16.62 m / 54 ft 8 in	
Deadweight	163545.3 tons		Draft forward extreme	16.62 m / 54 ft 8 in	
Capacity			Draft after	16.62 m / 54 ft 8 in	
Air draft	35.72 m / 117 ft 6 in		Draft after extreme	16.62 m / 54 ft 8 in	

Ship's Particulars			
Length overall	280.5 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	50 m	Type of stern	V-shaped
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	16 / 14	(1 shackle = 25 m / 13.7 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	18 / 18		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	1500 kW
Rudder angle for neutral effect	0.6 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	14 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	547.6 s	11.33 cbis	Advance	4.58 cbis
HAH to HAS	601.6 s	11.1 cbis	Transfer	1.91 cbis
SAH to SAS	688.6 s	10.41 cbis	Tactical diameter	4.63 cbis

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 21770 kW	Propeller type	CPP
Astern power	80 % ahead	Min. RPM	45
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	28.2 seconds

Engine Telegraph Table				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	16.5	20680	91	0.69
"FAH"	15	16561	83	0.67
"HAH"	13.5	13329	75	0.65
"SAH"	11.2	10160	64	0.63
"DSAHA"	6	7135	62	0.35
"DSAS"	-1.7	7351	62	-0.35
"SAS"	-3.5	10307	64	-0.63
"HAS"	-4.2	13577	75	-0.65
"FAS"	-4.6	17403	83	-0.69

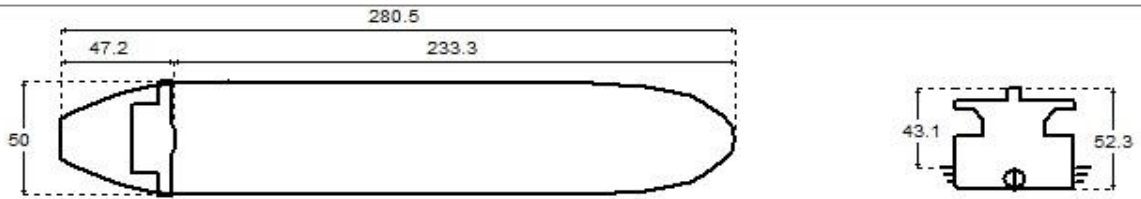
EK 4. Simulatörlerde Kullanılan Gemi Modeli Detayı (Gemi-3 Balastlı Seyir)

PILOT CARD

Ship name	VLCC 7 3.0.18.0 *	Date	17.04.2020
IMO Number	9316127	Call Sign	A8LY6
Load Condition	Ballast	Year built	N/A
Displacement	81306.3 tons	Draft forward	6.5 m / 21 ft 4 in
Deadweight	163545.3 tons	Draft forward extreme	6.5 m / 21 ft 4 in
Capacity		Draft after	9.2 m / 30 ft 3 in
Air draft	43.14 m / 141 ft 10 in	Draft after extreme	9.2 m / 30 ft 3 in

Ship's Particulars

Length overall	280.5 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	50 m	Type of stern	V-shaped
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	16 / 14		(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)
Max. rate of heaving, m/min	18 / 18		



Steering characteristics

Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	1500 kW
Rudder angle for neutral effect	0.43 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	14 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping

Description	Full Time	Head reach	Turning circle	
			Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	352.6 s	8.19 cbis	Advance	4.79 cbis
HAH to HAS	376.6 s	7.86 cbis	Transfer	2.28 cbis
SAH to SAS	408.6 s	7.06 cbis	Tactical diameter	5.55 cbis

Main Engine(s)

Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Right
Maximum power per shaft	1 x 21770 kW	Propeller type	CPP
Astern power	80 % ahead	Min. RPM	45
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	28.2 seconds

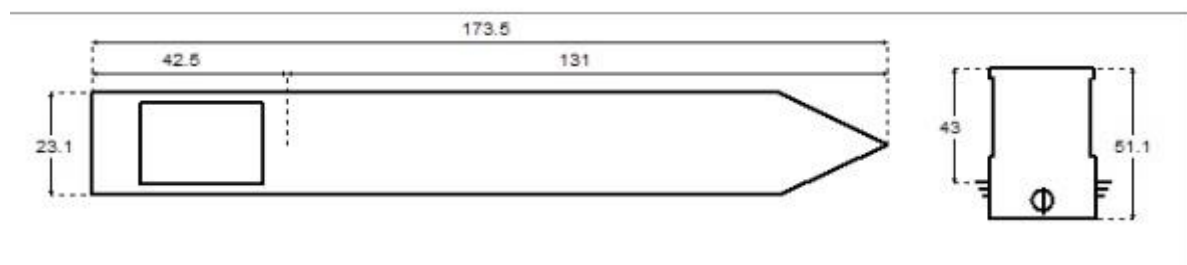
Engine Telegraph Table

Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	17.6	17141	91.8	0.69
"FAH"	15.6	13802	83.2	0.67
"HAH"	14.6	10529	75.2	0.65
"SAH"	12.6	7353	64.1	0.63
"DSAH"	6.4	6350	62	0.35
"DSAS"	-1.9	7013	62	-0.35
"SAS"	-4	9778	64	-0.63
"HAS"	-4.7	12930	75	-0.65
"FAS"	-5.2	16626	83	-0.69

EK 5. Simulatörlerde Kullanılan Gemi Modeli Detayı (Gemi-4)

PILOT CARD			
Ship name	LO-RO ship (Dis.19512t) TRANSAS 231.41.0 *		Date 16.04.2020
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A
Load Condition	Full load		
Displacement	19512 tons	Draft forward	7.5 m / 24 ft 8 in
Deadweight	17565 tons	Draft forward extreme	7.5 m / 24 ft 8 in
Capacity		Draft after	8.1 m / 26 ft 7 in
Air draft	43 m / 141 ft 5 in	Draft after extreme	8.1 m / 26 ft 7 in

Ship's Particulars			
Length overall	173.5 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	23.05 m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No./types)	2 (PortBow / StbdBow)		
No. of shackles	12 / 12	(1 shackle =25 m / 13.7 fathoms)	
Max. rate of heaving, m/min	18 / 18		



Steering characteristics			
Steering device(s) (type/No.)	Semisuspended / 1	Number of bow thrusters	1
Maximum angle	35	Power	750 kW
Rudder angle for neutral effect	-1.16 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over(2 pumps)	2.6 seconds	Power	N/A
Flanking Rudder(s)	0	Auxiliary Steering Device(s)	N/A

Stopping			Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine: 100%, Ordered rudder: 35 degrees	
FAH to FAS	373.6 s	9.55 cbis	Advance	2.8 cbis
HAH to HAS	220.4 s	2.73 cbis	Transfer	1.43 cbis
SAH to SAS	320.6 s	2.92 cbis	Tactical diameter	3.35 cbis

Main Engine(s)			
Type of Main Engine	Low speed diesel	Number of propellers	1
Number of Main Engine(s)	1	Propeller rotation	Left
Maximum power per shaft	1 x 9540 kW	Propeller type	CPP
Astern power	60 % ahead	Min. RPM	35
Time limit astern	N/A	Emergency FAH to FAS	96.1 seconds

Engine Telegraph Table (Shown regimes: Regime 0/Regime 1)				
Engine Order	Speed, knots	Engine power, kW	RPM	Pitch ratio
"FSAH"	18.9 / 18.9	8590 / 8590	127.3 / 127.3	0.92 / 0.92
"FAH"	15.5 / 16	5994 / 5994	127 / 113.6	0.63 / 0.76
"HAH"	9.8 / 12.8	4001 / 4001	127.3 / 97.9	0.27 / 0.69
"SAH"	7.9 / 10.5	2702 / 2702	126.9 / 84.8	0.18 / 0.64
"DSAH"	5.5 / 7	2303 / 2303	127 / 85	0.11 / 0.31
"DSAS"	-1.6 / -1.8	1875 / 1875	127 / 85.4	-0.16 / -0.34
"SAS"	-2.7 / -3.4	2190 / 2190	127.3 / 85.2	-0.37 / -0.7
"HAS"	-4.1 / -4.4	3310 / 3310	127.1 / 98	-0.55 / -0.8
"FAS"	-5.3 / -5.5	5050 / 5050	126.9 / 113.1	-0.74 / -0.88
"FSAS"	-6.2 / -6.4	7127 / 7127	127.3 / 127	-0.9 / -0.94

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Mehmed Serhan Erdal	
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

Fotoğraf

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	Deniz Harp Okulu
Fakülte	Elektronik Mühendisliği A.B.D.
Bölümü	İletişim Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	

	Yüksek Lisans
Üniversite	Bandırma Onyediy Eylül
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi
Programı	Denizcilik Mühendisliği ve İşletmeleri Yönetimi

Makale ve Bildiriler
Mehmed Serhan Erdal, Ender Yalçın, Münir Süner, Proposal for Dynamic Traffic Separation Scheme to Reduce Current-Related Ship Collision Risks in the Istanbul Strait, ICENSOS-2022 (International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences) on 04-06/04/2023.